

**GESTÃO DO SOLO E DA ÁGUA COM VISTA À UTILIZAÇÃO
SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS AGRÍCOLAS NO VALE DO
CAVACO, PROVÍNCIA DE BENGUELA, ANGOLA**

RIBEIRO JOÃO ANTÓNIO

ORIENTADOR: Doutor Pedro Manuel Leão Rodrigues de Sousa

CO-ORIENTADOR: Doutor Manuel Armando Valeriano Madeira

**TESE ELABORADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
ENGENHARIA AGRONÓMICA**

2018

GESTÃO DO SOLO E DA ÁGUA COM VISTA À UTILIZAÇÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS AGRÍCOLAS NO VALE DO CAVACO, PROVÍNCIA DE BENGUELA, ANGOLA

RIBEIRO JOÃO ANTÓNIO

**TESE ELABORADA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
ENGENHARIA AGRONÓMICA**

Júri:

Presidente: Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor Manuel Armando Valeriano Madeira, Professor Catedrático Jubilado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor Armindo Aires Afonso Martins, Professor Associado com Agregação aposentado da Escola de Ciências da Vida e do Ambiente da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro;

Doutor Augusto Manuel Nogueira Gomes Correia, Professor Associado com Agregação do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;

Doutor Carlos Alberto de Jesus Alexandre, Professor Auxiliar da Escola de Ciências e Tecnologia Universidade de Évora;

Doutor Fernando Manuel Girão Monteiro, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

2018

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Emanuel Ribeiro de Barros António, a quem faço votos que essa tese lhe venha servir de fonte de inspiração por uma vida melhor e ao bem de Angola, assim como da humanidade.

HOMENAGEM

Às memórias dos meus falecidos avós João Gaspar da Costa e Domingas Francisco Lopes, dos meus pais Manuel António Domingos e Maria João Gaspar e das minhas tia-avó e tia-mãe Marcela Francisco Lopes e Felizarda João Gaspar.

Ao malogrado Professor Emérito Ilídio Rosário dos Santos Moreira, do Instituto Superior de Agronomia por ter sido um dos expoentes da realização do Curso de Mestrado em Agronomia e Recursos Naturais que deu lugar a realização do presente doutoramento em engenharia agronómica, assim como por ter chefiado a Comitativa de Professores do ISA que contactou o Governo da Província de Benguela para a realização dessa tese no Vale do Cavaco. O seu exemplo de total entrega e dedicação a ciência, a técnica e a cultura, assim como a humanidade me inspirará sempre para servir cada vez mais a Angola e a viver com dignidade neste mundo globalizado. Que a sua alma descanse em paz na glória de Deus.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa pela valiosa contribuição dada na organização e realização do curso de doutoramento em engenharia agronómica.

Ao Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento (IPAD), posteriormente, Camões - Instituto da Cooperação e da Língua, I. P., pelo financiamento do programa de doutoramento de Quadros do Ministério da Agricultura e Florestas de Angola, através do Centro de Estudos Tropicais para o Desenvolvimento (CENTROP), sem o qual não seria possível a realização da presente dissertação.

Ao Ministério da Agricultura e Florestas de Angola pelo apoio prestado para realização do curso de doutoramento.

Ao Ministério da Educação Superior e ao Instituto Nacional de Gestão de Bolsas de Estudo, pela cedência de um complemento de bolsa que contribuiu para realização do presente doutoramento.

À Embaixada da República de Angola em Portugal pela atenção e acompanhamento durante a minha estadia em Portugal.

Ao Governo da Província de Benguela pelo interesse no desenvolvimento do estudo e pelo empenho para a realização de análises de água de rega na Empresa de Águas e Saneamento de Benguela (ENSAB).

Ao Engº Carlos Abrantes, Director Provincial da Agricultura e Desenvolvimento Rural de Benguela, e ao Técnico Bernardo Gaspar, Responsável do perímetro de rega do Vale do Cavaco no Gabinete de Aproveitamento Hidroagrícola dos Vales de Cavaco e Catumbela (GAHACC), pela colaboração e articulação local com as demais instituições e agricultores no âmbito da realização do trabalho de campo.

Ao Professor Catedrático Pedro Manuel Leão Rodrigues de Sousa, orientador, e ao Professor Catedrático Manuel Armando Valeriano Madeira, co-orientador, pela sua disponibilidade e dedicação, sem se pouparem a esforços nem sacrifícios, em orientarem, quer em Portugal quer em deslocações a Angola, à presente dissertação. A minha mais alta estima e sentimentos de inteira gratidão.

Ao Professor Fernando Manuel Girão Monteiro pela realização das análises mineralógicas do presente trabalho.

Ao Professor Francisco Manuel Souto Gonçalves de Abreu pelo apoio na análise das normais climáticas provisórias estudadas do Vale do Cavaco.

À Professora Maria Manuela Costa Neves Figueiredo pela orientação no tratamento estatístico dos dados.

Ao Professor Augusto Manuel Nogueira Correia, enquanto Presidente Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento (IPAD) pela articulação com as instituições, quer em Portugal (nomeadamente o Centro de Estudos Tropicais para o Desenvolvimento, CENTROP) quer em Angola, que intervieram para a realização do programa de doutoramento.

Aos senhores Professores que com ensinamentos, experiências e visitas à área de estudo contribuíram para o planeamento e realização do presente estudo, muito particularmente os professores Ilídio Santos Moreira (já falecido), Carlos Almeida Cabral e Arlindo Lima.

Às técnicas do Laboratório de Pedologia do Instituto Superior de Agronomia Isabel Balsemão, Maria João e Ana Maria pela realização das análises laboratoriais sem as quais não seria possível a realização do presente trabalho, assim como à senhora Maria Conceição Silva pelas tarefas realizadas em apoio às actividades do referido laboratório.

Ao Mestre Paulo Marques do Laboratório de Pedologia do Instituto Superior de Agronomia pelo apoio prestado no tratamento e organização de dados.

À senhora Cristina Félix (madrinha), Secretaria do Conselho Científico do Instituto Superior de Agronomia e do CENTROP, pela atenção prestada e cordialidade.

Aos agricultores das Fazendas seleccionadas para o estudo por autorizarem a realização das amostragens de solos e de água de rega e a instalação de piezómetros, assim como pelos contactos mantidos com o doutorando e os Orientadores nas visitas de campo.

À Estação Experimental do Instituto de Investigação Agronómica (IIA) no Vale do Cavaco, pela cedência de dados meteorológicos, e particularmente ao senhor Abílio pela compilação dos dados meteorológicos.

Ao ex-Director da Estação Experimental no Vale do Cavaco, Agostinho Tchivange, pelo apoio no transporte de meios e instrumentos de trabalho para realização da amostragem de solos e água no perímetro de rega.

À minha querida esposa Mestre Maria Florinda de Oliveira e toda família, aos amigos e conhecidos pela atenção e compreensão das dificuldades e ausências na convivência em muitos momentos da decorrência desse trabalho.

Aos excelentíssimos Mestre Engenheiro José Manuel Baptista, Mestranda Maria Marcelina F. Wedeingue e General Francisco Firmino Jacinto pelo apoio prestado na solução

de várias dificuldades, incluindo financeiras, junto da família e para a realização do curso de doutoramento.

Aos colegas angolanos de doutoramento no Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa: Pascoal Muhondo, Mateus Manuel, António Chikapa, Agostinho Tchivange, Henrique Paiva Alves Primo, António Gonçalves Neto, Aleluia Samuel Chinga, Joaquim César, João Francisco Cardoso e Paulo Tembo pela convivência e partilha de experiências no saber agrícola.

“A salinidade é um fenómeno complexo e sua plena compreensão exige esforços conjuntos de agrónomos, bioquímicos, geneticistas, biólogos moleculares, fisiologistas vegetais, cientistas do solo, entre outros.”

Gorham (1992).

“Alcalinidade pode apropriadamente ser chamada de lepra do solo. Este é o problema, uma vez infestada no solo, e continua a agravar diminuindo a produtividade de solos. Portanto, é necessário um estudo minucioso desse grave problema do solo”.

Chandy K.T. (Dr) (2012)

“A agricultura de regadio pode ser sustentável se o princípio básico da gestão da água, a conservação da água, do controle da salinidade e da erosão são reconhecidos. Ao mesmo tempo, o potencial de contaminação da água e dos problemas sociais, económicos e institucionais serem abordados se a agricultura de regadio deve continuar no seu nível actual ou deve ser modificada no futuro.”

Buckes *et al.*, (1990)

“A gestão planeada da água e do solo deve ser intimamente ligados – e um sem o outro conduz inevitavelmente a um desastre.”

Cook & Ellis (1987)

RESUMO

O clima das regiões áridas e semi-áridas, como é o caso do Litoral de Angola, favorece ao processo de salinização e sodização dos solos. Porém, este processo pode ser controlado ou agravado pelo sistema de uso dos solos e da água de rega se medidas adequadas não forem adoptadas.

Neste contexto, desenvolveu-se o presente estudo com o objectivo de (i) avaliar o estado da salinidade e sodicidade dos solos e da qualidade da água de rega no perímetro de Rega do Vale do Cavaco, localizado em área de clima semi-árido; e (ii) contribuir para o desenvolvimento de sistemas de gestão do estado e de monitorização dos solos e da qualidade da água de rega com vista ao controlo da salinidade e da sodicidade, bem como para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas no perímetro de rega do Vale do Cavaco.

A metodologia de investigação incluiu uma revisão bibliográfica dos estudos anteriores, um levantamento de campo, a amostragem dos solos de 32 perfis e da água de rega de 14 estações de captação e de 16 piezómetros próximos aos perfis amostrados, assim como a descrição morfológica dos perfis e a identificação das características físicas, químicas e mineralógicas dos solos amostrados.

Na generalidade observou-se que a água de rega é de boa qualidade quanto à salinidade e à sodicidade, embora algumas estações de captação (10%) mostrem limitações ligeiras a moderadas e severas para utilização na rega. Os resultados indicam que não terão havido aparentemente modificações relativamente aos resultados relatados há cinco décadas. Cerca de um terço das camadas dos solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco mostram condutividade eléctrica superior 4 dS m^{-1} e um pouco mais da metade das camadas apresentam percentagem de sódio no complexo de troca superior a 15%. Comparada com a situação tipificada há 50 indica um agravamento da salinização, principalmente nas áreas abandonadas e não cultivadas e uma forte expansão da sodização tanto nas áreas cultivadas como nas abandonadas e não cultivadas. Tendo em vista a prevenção, o controlo e o desagravo da salinização e da sodização dos solos o estudo recomenda o estabelecimento de uma situação de referência e a implementação de um sistema de monitorização periódica da qualidade da água de rega e das características dos solos quanto à salinidade e à sodicidade, bem como o desenvolvimento de boas práticas culturais, de sistemas de rega para o uso eficiente da água e da selecção de espécies e variedades culturais tolerantes aos sais solúveis. Para isso, considera indispensável capacitar tecnicamente os serviços competentes e apoiar os agricultores e a associação dos agricultores do Vale do Cavaco através de acções de demonstração.

Palavras-chaves: Salinização, sodização, razão de adsorção de sódio, condutividade eléctrica, compacidade do solo.

ABSTRACT

The climate in arid and semi-arid regions, as is the case of the Coast of Angola, favors the process of soil salinization and sodization. However, this process can either be controlled, or aggravated by inappropriate land use and water irrigation practices.

In this context, the aim of the present study is: (i) to evaluate the soil salinity and sodicity status and the quality of the irrigation water in the irrigation perimeter of the Cavaco Valley, located in a semi-arid climate area; (ii) to contribute to the development of state management systems and monitoring of the soil and irrigation water quality in order to control the salinity and sodicity levels, as well as to the sustainability of agricultural systems in the irrigation perimeter of the Cavaco Valley.

The research methodology includes a literature review of the previous studies, a field survey, sampling soils from 32 profiles and the irrigation water of 14 collection stations, in addition to a further 16 piezometers in the vicinity of the sampled profiles. We also carried out a morphological description of the profiles and the identification of the physical, chemical and mineralogical characteristics of the sampled soils and irrigation water.

The observations generally showed that the irrigation water is of good quality in terms of salinity and sodicity, despite the fact that some collection stations (10%) indicate slight to moderate and severe restrictions on irrigation use. The present results point that there have apparently been no changes to the results reported five decades ago. About one-third of the soil layers in the irrigation perimeter of the Cavaco Valley show an electrical conductivity higher than 4 dS m⁻¹, while a little more than half of the layers exhibit an exchangeable sodium percentage greater than 15%. Compared to the situation 50 years ago, this indicates a worsening salinization, especially in abandoned and non-cultivated areas, and a strong expansion of sodization in both cultivated areas, as well as abandoned areas and non-cultivated ones.

In order to prevent and control the soil salinization and sodization process and to mitigate its effects, the present study recommends the creation of a reference frame and the implementation of a system for the periodical monitoring of irrigation water quality and soil characteristics to determine salinity and sodicity levels, as well as the development of good cultural practices, water-efficient irrigation systems and the selection of species and varieties that are tolerant to soluble salts. To this end, it considers it essential to provide the relevant services with the necessary technical training and engage in demonstration activities in order to support farmers and the Cavaco Valley farmers' association.

Key words: Salinization, sodization, sodium adsorption ratio, electrical conductivity, soil compactness.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xv
ÍNDICE GERAL	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS	xxi
ÍNDICE DE QUADROS	xxv
ÍNDICE DE ANEXOS	xxvii
ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS	xxix

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO	1
----------------------	---

CAPÍTULO II

2. ÁREA DE ESTUDO	15
2.1. LOCALIZAÇÃO	17
2.2. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	19
2.3. CLIMA	20
2.3.1. Precipitação e evaporação	21
2.3.2. Temperatura e humidade relativa	23
2.4. SOLOS	24
2.5. VEGETAÇÃO	25
2.6. USO DA TERRA	27

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIAS	31
3.1. METODOLOGIA DE CAMPO	33
3.1.1. Reconhecimentos preliminares	33
3.1.2. Amostragens	34
3.1.2.1. Amostragem dos solos	34
3.1.2.2. Amostragem de água de rega	36
3.1.2.3. Amostragem de água de rega dos piezómetros	39
3.2. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS	42

3.2.1. Solos	42
3.2.2. Pesquisas preliminares	42
3.2.3. pH e condutividade eléctrica	43
3.2.4. Análise granulométrica	43
3.2.5. Mineralogia da fracção argila	44
3.2.6. Carbonato de cálcio	44
3.2.7. Carbono orgânico	44
3.2.8. Fósforo e potássio extraíveis	45
3.2.9. Complexo de troca catiónica	45
3.2.10. Extracto de saturação	47
3.2.11. Água de rega de rega e de piezómetros	49
3.3. PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS	49

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS	51
4.1. MORFOLOGIA DOS SOLOS	53
4.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS SOLOS	58
4.2.1. Características físicas e mineralógicas	58
4.2.1.1. Granulometria	58
4.2.1.2. Mineralogia da fracção argila	60
4.2.2. Características químicas	61
4.2.2.1. Condutividade eléctrica (na suspensão de determinação do pH)	61
4.2.2.2. Carbonato de cálcio	62
4.2.2.3. Carbono orgânico	62
4.2.2.4. Fósforo extraível	63
4.2.2.5. Potássio extraível	64
4.2.2.6. Complexo de troca	65
4.2.2.7. Reacção do solo	76
4.2.2.8. Características do extracto de saturação	77
4.1. CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE REGA E DE PIEZÓMETROS	87
4.1.1. Água de rega	87
4.1.2. pH	87
4.1.3. Condutividade eléctrica	88
4.1.4. Catiões solúveis e razão de adsorção de sódio	91

4.1.5. Aniões solúveis	94
4.1.6. Água dos piezômetros	97
CAPÍTULO V	
5. DISCUSSÃO	101
5.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS SOLOS	103
5.2. SALINIDADE	105
5.3. SODICIDADE	109
5.4. DEGRADAÇÃO DOS SOLOS E OS RISCOS PARA AS CULTURAS	112
5.5. GESTÃO DA ÁGUA DE REGA COM VISTA À PREVENÇÃO DA DEGRADAÇÃO DOS SOLOS E DA ÁGUA	114
CAPÍTULO VI	117
6. CONCLUSÕES	119
BIBLIOGRAFIA	121
ANEXOS	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localização do Vale do Cavaco, Angola. Adaptado de Diniz (1974).....	17
Figura 2. Bacia hidrográfica do rio Halo-Cavaco. Fonte: Diniz (1974).	18
Figura 3. Precipitação média anual (mm) (A), números de dias de precipitação (B) e período de chuva no Sudoeste de Angola (C). Fonte: Diniz, C. A.	21
Figura 4. Precipitação (R) e evaporação (EVP) anuais no Vale do Cavaco nos períodos de 1952 a 1961 (A) e de 1993 a 2012 (B).	22
Figura 5. Precipitação mensal correspondente ao 2º, 5º e 8º decis no período de 1993 a 2012.	23
Figura 6. Temperaturas médias anuais (T) dos períodos de 1993 a 2012 (A) e de 1952 a 1961 (B) (Almeida, 1966) no Vale do Cavaco.....	24
Figura 7. Vegetação dominantes no Vale do Cavaco. Fonte: Barbosa (2009)	26
Figura 8. Sistemas de rega em uso no perímetro de rega do Vale do Cavaco. A – Rega por gravidade, B – Rega por aspersão com pivô, C – Rega por micro aspersão e D – Rega por gota-a-gota.....	29
Figura 9. Áreas abandonadas no perímetro de rega do Vale do Cavaco. A – Área com pastagem para gado caprino e bovino e B – Área sem cobertura vegetativa.....	30
Figura 10. Localização dos solos estudados. PS – Solos localizados no perímetro de rega do Vale do Cavaco; PA – Solos localizados em colinas periféricas ao perímetro.....	35
Figura 11. Localização das estações de captação para amostragem da água de rega no Vale do Cavaco. C – Estação de captação de água de rega; PS – Solo localizado na proximidade da estação.....	37
Figura 12. Localização dos piezómetros para amostragem da água do aquífero superficial no Vale do Cavaco. Z – Piezómetro; PS – Solo localizado na proximidade do piezómetro	40
Figura 13. Concentrações médias das frações areia, limo e argila na fracção fina do conjunto das diferentes camadas dos solos estudado	59
Figura 14. Frequências (%) médias das camadas com as diferentes classes de concentrações das frações areia (1), limo (2) e argila (3)	59
Figura 15. Proporção das classes de concentração de carbono orgânico (Corg) no conjunto das camadas dos solos (1) e nas camadas superficiais (2), camadas subsuperficiais (3) e camadas mais profundas (4) dos solos estudados.	63
Figura 16. Frequências médias da capacidade catiónica (CTC) no conjunto dos horizontes e camadas dos solos (1) e dos horizontes superficiais (2), dos horizontes e camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados.	66
Figura 17. Proporções das diferentes bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} e K^{+}) na soma das bases de troca das diferentes camadas dos solos estudados.	71

Figura 18. Diferentes classes da proporção de Ca^{2+} de troca na soma de bases de troca no conjunto das diferentes camadas dos solos (1) e das camadas superficiais (2), dos horizontes e camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados.	72
Figura 19. Diferentes classes da proporção de Mg^{2+} de troca na soma de bases de troca no conjunto das camadas dos solos (1) e das camadas superficiais (2), das camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados.	73
Figura 20. Proporções das diferentes classes do Na^+ de troca na soma das bases de troca no conjunto dos horizontes e camadas dos solos (1) e dos horizontes superficiais (2), dos horizontes e camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados.	73
Figura 21. Proporções das diferentes classes de K^+ de troca na soma das bases de troca no conjunto das camadas dos solos (1) e das camadas superficiais (2), das camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados.....	74
Figura 22. Frequências (%) médias da percentagem de sódio de troca (PST) no conjunto dos horizontes e camadas dos solos (1) e dos horizontes superficiais (2), horizontes e camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados distribuídos por classes de valores da PST.	75
Figura 23. Classes de percentagem de sódio de troca (PST) nos solos estudados. Os símbolos com ponto negro referem-se a áreas abandonadas. PS – Solos no perímetro de rega do Vale do Cavaco; PA – Solos nas colinas periféricas ao perímetro de rega do Vale do Cavaco. A sequência das classes de PST em cada perfil são verticalmente da camada superficial para a mais profunda.	76
Figura 24. Frequências (%) médias dos valores de pH considerados no conjunto das camadas dos solos (1) e nas camadas superficiais (2), nas camadas subsuperficiais e (3) nas camadas mais profundas (4) dos solos estudados.	77
Figura 25. Classes de condutividade eléctrica (CE) no extracto de saturação dos solos estudados. PS – Solos localizados no perímetro do Vale do Cavaco. Os símbolos com ponto negro referem-se a áreas abandonadas. PA – Solos localizados nos morros circundantes do perímetro de rega do Vale do Cavaco. A sequência vertical das classes de CE em cada perfil: da camada superficial para a mais profunda.	79
Figura 26. Proporção das diferentes classes de concentração de sódio (Na^+) no extracto de saturação no conjunto das camadas dos solos (1) e das camadas superficiais (2), das camadas subsuperficiais (3) e das camadas profundas (4) dos solos estudados que apresentaram sais solúveis durante a pesquisa.	82
Figura 27. Frequências (%) médias da razão de adsorção de sódio (RAS) do extracto de saturação no conjunto das camadas dos solos (1) e das camadas superficiais (2), subsuperficiais (3) e camadas profundas (4) dos solos estudados que apresentaram sais solúveis.	83

Figura 28. Proporção das diferentes classes de concentração de cloreto (Cl^-) do extracto da saturação no conjunto das camadas dos solos (1) e das camadas superficiais (2), das camadas subsuperficiais (3) e das camadas profundas (4) dos solos estudados que apresentaram sais solúveis.	84
Figura 29. Classes de condutividade eléctrica da água de rega amostrada nas estações de captação (C) no perímetro de rega do Vale do Cavaco. A sequência horizontal das classes de condutividade correspondem da esquerda para directa às amostragens de Dezembro de 2011, Março de 2012, Maio de 2012 e Dezembro de 2012.	91
Figura 30. Proporção das classes de condutividade eléctrica no extracto da pasta de saturação do solo observada no presente estudo e no de Diniz (1974).	106
Figura 31. Proporção da classe de condutividade eléctrica inferior a 4 dS m^{-1} nos horizontes e camadas dos solos nas áreas cultivadas (A) e nas áreas abandonadas ou não cultivadas (B) no presente estudo e no de Diniz (1974). 1 - Horizontes superficiais; 2 - Horizontes subsuperficiais; 3 - camadas mais profundas.	108
Figura 32. Proporção de classes de percentagem de sódio de troca (%) nos horizontes e camadas dos solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco no presente estudo e no de Diniz (1974).	110
Figura 33. Proporção da classe de percentagem de sódio de troca inferior a 15% nos horizontes e camadas dos solos nas áreas abandonadas ou não cultivadas (A) e nas áreas cultivadas (B) no presente estudo e no estudo de Diniz (1974). 1 - camadas superficiais; 2 - camadas subsuperficiais; 3 - camadas mais profundas.	111

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Características morfológicas dos horizontes ou camadas (Horiz) dos solos observados e amostrados no Perímetro Vale do Cavaco. TE – textura; EG – elementos grosseiros; AG – agregação; CP – compacidade; CT – consistência; PR – porosidade; RZ – raízes; (h) – estado húmido.....	54
Quadro 2. Constituição mineralógica da fracção argilosa das diferentes camadas representativas de alguns dos solos estudados.	60
Quadro 3. Frequências (%) dos valores da condutividade eléctrica (CE) (na suspensão da determinação do pH) nas camadas dos solos estudados distribuídas por classes.....	61
Quadro 4. Frequências (%) dos valores da concentração de carbonato de cálcio (CaCO_3) nas camadas dos solos estudados distribuídos por classes.	62
Quadro 5. Frequências (%) dos valores de concentração de fósforo extraível (P_{ext}) nas diferentes camadas distribuídas por classes e respectivos limites inferiores e superiores (entre parêntesis) dos solos estudados.	64
Quadro 6. Frequências (%) dos valores de concentração de potássio extraível (K_{ext}), nas diferentes camadas do solo, distribuídos por classes e os limites inferiores e superiores (entre parêntesis) dos solos estudados.	65
Quadro 7. Frequências (%) das classes dos valores de cálcio de troca (Ca^{2+}) nas camadas dos solos estudados.....	67
Quadro 8. Frequências (%) das classes de concentração de magnésio (Mg^{2+}) de troca nas camadas dos solos..	68
Quadro 9. Frequências (%) das classes dos valores de concentração de potássio (K^+) nas camadas dos solos estudados..	69
Quadro 10. Frequências (%) das classes dos valores de concentração do Na^+ de troca nas camadas dos solos estudados	70
Quadro 11. Limites inferiores e superiores e médias das proporções das bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) nas camadas dos solos estudados	71
Quadro 12. Frequências (%) das classes dos valores da condutividade eléctrica (CE) nas camadas dos solos que apresentaram sais durante a pesquisa e no extracto de saturação dos horizontes e camadas dos solos estudados	78
Quadro 13. Frequências (%) das classes dos valores de cálcio (Ca^{2+}) no extracto das camadas dos solos estudados (que apresentaram sais solúveis durante a pesquisa).....	80
Quadro 14. Frequências (%) das classes dos valores magnésio (Mg^{2+}) no extracto das camadas dos solos estudados (que apresentaram sais solúveis durante a pesquisa).....	81

Quadro 15. Frequências (%) das classes dos valores de potássio (K^+) no extracto das camadas dos solos estudados (que apresentaram sais solúveis durante a pesquisa).....	83
Quadro 16. Frequências (%) das classes dos valores de sulfatos (SO_4^{2-}) no extracto das camadas dos solos estudados (que apresentaram sais solúveis durante a pesquisa).....	85
Quadro 17. Frequências (%) das classes dos valores de bicarbonatos (CO_3H^-) no extracto de alguns das camadas dos solos estudados (que apresentaram sais solúveis).....	86
Quadro 18. Reacção (pH), condutividade eléctrica (CE em $dS\ m^{-1}$), concentração ($mmol\ L^{-1}$) de sulfatos (SO_4^{2-}), cloretos (Cl^-), (sódio (Na^+) e razão de adsorção de sódio (RAS) (Adimensional) da água de rega das estações de captação próximo do perfil (CPS)..	89
Quadro 19. Reacção (pH), condutividade eléctrica (CE), concentração ($mmol\ L^{-1}$) de sulfatos (SO_4^{2-}) cloreto (Cl^-), sódio (Na^+) e razão de adsorção de sódio (RAS) (Adimensional) das amostras de água recolhidas nos piezómetros 1, 2 e 3.	98
Quadro 20. Diferenciação dos solos quanto à condutividade eléctrica (CE) do extracto de saturação e à percentagem de saturação de sódio (PST) das diferentes camadas dos solos no perímetro de rega incluindo os que não apresentaram sais na pesquisa (Presente estudo).....	113

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Dados respeitantes à granulometria, pH, condutividade eléctrica (CE), pesquisa de sais, teores de carbonato de cálcio (CaCO_3), carbono orgânico e de fósforo (POL; teste de Olsen) e potássio (KER, teste de Egnér-Riehm) extraíveis dos solos dos perfis amostrados no Vale do Cavaco. Simbologia: Perfis dos solos amostrados no perímetro de rega (PS), Solos localizados em colinas periféricas ao perímetro de rega (PA), Colinas (CL), solos cultivados (CT), solos abandonados não cultivados (AB), Areia grossa (AG), Areia fina (AF), Limo (LI) e Argila (AR), Pesquisa de sais: Não determinado (-), Nulo (N), Vestígios (Vest), Muito baixo (mB), Baixo (B), Médio (M), Alto (A), Muito alto (mA). ... 133
- Anexo 2.** Dados da fracção argilosa referente à matéria orgânica (g kg^{-1}), capacidade troca catiónica da matéria orgânica e da fracção argila ($\text{cmol}_c \text{ gkg}^{-1}$) das diferentes camadas dos solos do Vale do Cavaco. Simbologia: Perfis dos solos amostrados no perímetro de rega (PS), solos cultivados (CT), solos abandonados não cultivados (AP). 138
- Anexo 3.** Dados referentes à concentração ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), sódio (Na^+), hidrogénio (H^+) e da soma das bases (S), capacidade de troca de catiónica (CTC), saturação em bases ($\text{S}/(\text{S}+\text{H}^+)$), percentagem de soma das bases na capacidade de troca catiónica (S/CTC), percentagem de sódio de troca (Na^+/CTC), percentagem de sódio de troca na soma das bases mais hidrogénio [$\text{Na}^+/(\text{S}+\text{H}^+)$], percentagem de sódio de troca mais magnésio na capacidade de troca catiónica [$(\text{Na}^++\text{Mg}^{2+})/\text{CTC}$], percentagem de sódio de troca mais magnésio de troca na soma das bases mais hidrogénio [$(\text{Na}^++\text{Mg}^{2+})/\text{S}+\text{H}^+$] no complexo de troca das camadas dos solos do Vale do Cavaco. Simbologia: Perfis dos solos amostrados no perímetro de rega (PS), Solos localizados em colinas periféricas ao perímetro de rega (PA), Colinas (CL), solos cultivados (CT), solos abandonados não cultivados (AB), Não determinado (-). 140
- Anexo 4.** Proporções relativas das bases de troca nas diferentes camadas dos solos do Vale do Cavaco: Simbologia: Perfis dos solos amostrados no perímetro de rega (PS), solos cultivados (CT), solos abandonados não cultivados (AP). 145
- Anexo 5.** Dados do pH, condutividade eléctrica (CE), e concentração de cloretos (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (CO_3H^-), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extracto de saturação das camadas dos solos do Vale do Cavaco. Simbologia: Perfis dos solos amostrados no perímetro de rega (PS), Solos localizados em colinas periféricas ao perímetro de rega (PA), Colinas (CL), solos cultivados (CT), solos abandonados não cultivados (AB), Colinas (CL), Não determinado (-). 147

ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AF	Areia fina, (g kg ⁻¹)
AG	Areia grossa, (g kg ⁻¹)
ANOVA	Modelo estatístico de análise de variância
AR	Argila, (g kg ⁻¹)
CE	Condutividade eléctrica, (dS m ⁻¹)
CEPT	Centro de Estudos de Pedologia Tropical
Ca ²⁺	Cálcio, (cmol _c kg ⁻¹ , mmol _c L ⁻¹ , %)
CaCO ₃	Carbonato de cálcio, (g kg ⁻¹)
Cl ⁻	Cloreto, (adimensional, mmol _c L ⁻¹)
Corg	Carbono orgânico, (g kg ⁻¹)
CO ₃	Carbonato, (mmol _c L ⁻¹)
CO ₃ H ⁻	Bicarbonato, (mmol _c L ⁻¹)
CPS	Estação de captação de água de rega localizado na proximidade do perfil dos solos amostrados
CTC	Capacidade de troca catiónica, (cmol _c kg ⁻¹)
DNHAER	Direcção Nacional de Hidráulica Agrícola e Engenharia Rural
ENAMA – U. E. E.	Empresa Nacional de Mecanização Agrícola – Unidade Económica Estatal
Excel	Programa estatístico Excel
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
GAHACC	Gabinete de Aproveitamento Hidroagrícola do Vale do Cavaco e da Catumbela
GSB	Grau de saturação em bases, (%)
H ⁺	Hidrogénio, (cmol _c kg ⁻¹)
IIAA	Instituto de Investigação Agronómica de Angola
IIA	Instituto de Investigação Agronómica, Angola
ISA	Instituto Superior de Agronomia
K	Minerais do grupo caulinite (%)
K	Radiação K
K ⁺	Potássio de troca, (cmol _c kg ⁻¹ , mmol _c L ⁻¹ , %)
K _{ext}	Potássio extraível, (mg kg ⁻¹)
JCPDS/PDF	Comité do Centro Internacional para Difracção de Dados reflectidos internacionalmente para uso em PDF
LI	Limo, (g kg ⁻¹)
M	Minerais do grupo montmorilonite (%)

MECANAGRO, E.P.	Empresa Nacional de Mecanização Agrícola, Empresa Publica
MINAGRI	Ministério da Agricultura, Angola
MIAA	Missão de Inquéritos Agrícolas de Angola
Mg ²⁺	Magnésio, (cmol _c kg ⁻¹ , mmol _c L ⁻¹ , %)
Mi	Minerais do grupo micáceos, (%)
Na ⁺	Sódio, (cmol _c kg ⁻¹ , mmol _c L ⁻¹ , %)
PA	Perfil de solos localizados em colinas periféricas ao perímetro.
P _{ext}	Fósforo extraível, (mg kg ⁻¹)
PA	Solos localizados em colinas periféricas ao perímetro de rega
pH	Reacção do solo ou da água, (adimensional)
PS	Perfil de solos localizados no perímetro de rega do Vale do Cavaco
PST	Percentagem de sódio de troca, (%)
PVC	Tubo de polietileno
PZ	Piezómetro
PW	Potencia, (Watt)
SAR	Razão de adsorção de sódio, (adimensional)
SO ₄ ²⁻	Sulfato, (mmol _c L ⁻¹)
UL	Universidade de Lisboa
S	Somas das bases
Snamprogetti	Sociedade de projectos
ZPS	Piezómetro localizado na proximidade do perfil dos solos amostrados

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Angola tem uma área de 1.246.700 km² e compreende várias regiões, entre as quais se destaca a “Orla Litoral” que se estende ao longo da costa, desde a Província de Cabinda à Província do Namibe, entre o mar e a curva de nível de 400 m, com uma largura variável desde 15 a 20 km, a sul de Benguela, e até cerca de 180 km na bacia do rio Kwanza (Marques, 1977). A Orla Litoral inclui as províncias de maior densidade populacional do País, nomeadamente Luanda (5.278.775 habitantes), Kwanza Sul (1.316.887 habitantes), Benguela (1.820.616 habitantes) e Namibe (349.511 habitantes), correspondendo a 45,7% da população de Angola (ANIP, 2012).

A Orla Litoral diferencia-se de grande parte do território de Angola. Compreende uma zona de plataformas de abrasão marinha, situadas entre o mar e a altitude de 200 m, nas quais se evidenciam, em função de erosão recente, costeiras bem delineadas e uma outra zona de plataformas de aplanção de Sopé de Escarpa Litoral, com altitude entre 200 a 400 m, ocorrendo no Complexo de Base e nas formações sedimentares (MPA, 1963; MPAM, 1968; CEPT, 1972; CEPT, 1981; CEPT, 1985). A Orla Litoral até aos 200 m (plataforma de abrasão marinha) assenta sobre formações geológicas sedimentares de origem marinha ou continental. Correspondem-lhe formações do Cretácico inferior (grés conglomeráticos) e do Cretácico superior (margas e calcários margosos), do Eocénico (calcários salificados), do Oligo-Miocénico (margas, argilas e calcários), do Plistocénico (depósitos quartzosos), do Plio-pleistocénico (depósitos arenosos) e do Holocénico (depósitos aluvionares e coluvionares). A plataforma de zona de aplanção de Sopé de Escarpa Litoral faz-se por degrau topográfico esculpido, em geral, em formações do Precâmbrico superior (xistos), do Complexo de Base (gnaisses e xistos metamórficos), do Complexo gabro-anortosítico e de rochas eruptivas ácidas (granitos, pórfiros) e básicas (basaltos, gabros e diabases) (MPA, 1963; MPAM, 1968; CEPT, 1972; CEPT, 1981; CEPT, 1985).

A precipitação média anual na Orla Litoral diferencia-se da que ocorre no resto do território nacional, não ultrapassando 500 mm na maior parte da área a Sul de Luanda. A precipitação diminui na direcção Sul e no Namibe é inferior a 100 mm (Antunes, 1961; MPA, 1963; MPAM, 1968; CEPT, 1972; CEPT, 1981; CEPT, 1985). A precipitação ocorre de Novembro a Abril e caracteriza-se por uma distribuição anual e mensal muito irregular, verificando-se um período de ausência de precipitação (cacimbo) de Maio a Outubro. A temperatura média anual do ar nas cidades de Luanda e de Benguela é de 25 °C e na do Namibe de 20 °C, e ao longo da Orla Litoral entre 17 e 27°C (Franco & Raposo, 2014). A Orla Litoral evidencia forte aridez, a qual se acentua na província de Benguela e, ainda mais,

na província do Namibe. Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o clima é árido (B) seco de baixa latitude e altitude com chuva predominante no verão e com região de clima de estepes quentes (BSh), entre as províncias do Zaire e Benguela, e desértico quente (BWh) predominante a Sul de Benguela e na província do Namibe (MPA, 1963 MPAM, 1968; CEPT, 1972; CEPT, 1981; CEPT, 1985). Sublinha-se que poderão ocorrer alterações climáticas, dado que a temperatura de superfície nas zonas costeiras de Angola subiu entre 0,2 e 1,0 °C, entre 1970 e 2004. Os modelos climáticos indicam que haverá um aumento ligeiro da temperatura nas regiões costeiras nos próximos 100 anos, bem como mudanças nos padrões de precipitação e na frequência de eventos extremos (SARUA, 2014).

A Orla Litoral, de acordo com a *Carta Fitogeográfica de Angola* (Barbosa, 2009), apresenta agrupamentos de vegetação que diferem com o grau de aridez do clima. Da região de Luanda para a província do Namibe ocorrem sucessivamente os agrupamentos: Mosaico de savana, estepes e balcedos xerófitos (*Adenсонia digitata* Juss., *Sterculia setígera* Del., *Acácia welwitschii* Oliv, *Dichrostachys cinera* subsp. *Forbesii* (Benth.) Brenan & Brummitt, *Guibourtia*, *Combretum*, *Strychnos*, *Setaria welwitschii* Rendle); Prado palustre (*Cyperus papyrus*, L. etc.); Miombos ralo e savana dos declives mesoplanálticos (*Brachysteigia spiciformis* var. *latfoliolata* Hoyle e va. *tipica*, *Julbernardia paniculata* (Benth.) Troupin, *Brachysteigia wangermeana* De Wild. (localizada) e *B. boehmii*); Formação de estepóides e estepes sublitorais, arbustivas e herbosa *Acácia*, *Colophospermum mopane* (Kirk ex Benth.) Kirk ex J. Léon, *Aristida*, *Schmidtia*, *Setaria*; Bosque e savana de árvores baixas, arbustos e capins altos (*Cochlospermum*, *Terminalia*, *Albizia*, *Pterocarpus*, *Combretum*, *Hyparrhenia diplandra* (Hack.) Stapf., *Panicum*); Formações de estepóides e de estepes litorais ralas, descontínuas, de ciclo vegetativo efémero (*Aristida*, *Cissus*, *Salvadora*, etc. e povoamentos de *Welwitschia*); e Vegetação desértica, esporádica e acantonada (*Odysea* e *Sporobolus*).

Os solos da Orla Litoral, de acordo com o sistema taxonómico da Carta Geral dos Solos de Angola, correspondem, a nível taxonómico mais elevado, a *Solos Pouco Evoluídos*, *Solos Calcários*, *Barros*, *Solos Áridicos Tropicais* e *Solos Fersialíticos Tropicais* (MPA, 1963; MPAM, 1968; CEPT, 1972; CEPT, 1981; CEPT, 1985). Os *Solos Poucos Evoluídos* integram os *Solos Aluvionais* (aluvionais fluviais e marinhos) que ocorrem nas áreas aluviais dos rios que vindo do planalto atravessam a Orla Litoral, nomeadamente nas províncias de Benguela e do Kwanza Sul; os *Regossolos* (*Xero-Psamorregossolos*, *Psamorregossolos Hidromórficos*, *Hidromórficos* não especificados e Dunas do Deserto) que ocorrem com frequência nas áreas litorais de Benguela, do Kwanza Sul e do Namibe, onde se destaca uma grande área de Dunas

do Deserto. Os *Solos Calcários* compreendem os *Solos Calcários Normais* bastante representativos na Orla Litoral de Benguela e apresentam-se em áreas dispersas na província do Kwanza Sul; os *Solos Calcários Halomórficos* (sódicos e sódico-salinos) com representação nas províncias do Kwanza Sul e de Benguela; os *Solos Calcários com crosta calcária* que ocorrem em áreas dispersas na zona litoral do Kwanza Sul, estendendo-se na província de Benguela; e os *Solos Arídicos Calcários* dominantes na Província do Namibe. Os *Barros* têm representação na zona litoral de Benguela (*Barros Negros Litomórficos*) e na zona Litoral do Kwanza Sul (*Litobarros*), os quais poderão ser sódico-salinos e sódico-salinos gipsíferos. Os *Solos Arídicos Tropicais* abarcam os *Solos Normarídicos* que se distribuem em áreas das províncias do Kwanza Sul e de Benguela; os *Solos Arídicos Halomórficos* (salinos, sódicos e sódico-salinos) ocorrem em extensas áreas nas províncias Kwanza Sul e do Namibe e em pequena extensão na província de Benguela; os *Solos Arídicos com crosta calcária* ocorrem em áreas das províncias do Kwanza Sul e de Benguela. Os *Solos Fersialíticos Tropicais* (*Solos Eutrofersialíticos*, *Solos Tipofersialíticos* e *Solos Psamo-Fersialíticos*) ocorrem em áreas mais interiores e mais pluviosas da Orla Litoral. São frequentes os Terrenos Rochosos, nomeadamente na área costeira do Kwanza Sul e de Benguela e na província do Namibe, que se associam em muitos casos a solos pedregosos.

Os solos da Orla Litoral diferem daqueles que ocorrem nas zonas mais húmidas do País (Franco & Raposo, 1999), nomeadamente no Planalto Central de Angola, onde os *Solos Ferralíticos* são largamente predominantes. As características dos solos da Orla Litoral reflectem a aridez do clima. Por isso, se justifica a expressiva presença de solos pouco desenvolvidos e com fraco grau de alteração, e que poderão manifestar, entre outras características, textura grosseira, presença de calcário (e reacção alcalina) e, em casos mais extremos, elevada concentração de sais solúveis (solos salinos) e mesmo de sódio de troca (solos sódicos), o que está associado à baixa precipitação que ocorre na região e que naturalmente determina fraca ou mesmo nula lixiviação (MPA, 1963; MPAM, 1968; CEPT, 1972; CEPT, 1981; CEPT, 1985). Assim, muito dos solos que ocorrem na Orla litoral são semelhantes aqueles que são dominantes nas várias áreas de clima árido, entre os quais se destacam os Solos Salinos e os Solos com carácter sódico. Nos solos das regiões de clima árido com baixa precipitação e elevada evapotranspiração potencial, a concentração de sais solúveis é favorecida (salinização), podendo estar associada ao processo de alcalinização que conduz ao forte aumento do pH e que pode dar origem à sodização dos solos (Brady & Weil, 2014). Aliás, estes solos têm grande expressão nas regiões áridas e são considerados

especificamente como agrupamentos principais na WRB (2006) e em diversos níveis taxonómicos da *Soil Taxonomy* (ST, 1999). Os solos salinos associados a acções antropogénicas são de grande importância económica pelos efeitos negativos, tanto na agricultura de regadio como de sequeiro (Suarez & Jurinak, 2012).

A salinização dos solos resulta da elevada concentração de sais solúveis no solo e tem como principal causa a baixa precipitação característica das regiões de clima árido e semiárido, onde a baixa ou nula lixiviação conduz a essa elevada concentração (Ayer & Westcot, 1985; Sumner, 1993; Brady & Weil, 2014). Independentemente das condições climáticas, a salinização pode estar associada à intrusão de água salgada nas áreas de estuários que pode favorecer a salinização do solo devido a ascensão capilar de sais solúveis que se acumulam nos horizontes superiores do solo (Brouwer *et al.*, 1985), bem como em áreas adjacentes a formações geológicas ricas em sais solúveis. A salinização também se pode associar à utilização de água de rega com elevada concentração de sais solúveis nomeadamente em zonas áridas (Rhoades, 1984; Brouwer *et al.*, 1985), o que pode ser favorecido pela má drenagem do solo (Milne & Rapp, 1971), e pelo uso de fertilizantes com sais muito solúveis, sobretudo potássicos, que em excesso aumenta a concentração dos sais solúveis na solução do solo (Balba, 1995; Laboski, 2008; Brady & Weil, 2014). Além disso, em muitas casos, a salinização está associada à inadequação dos métodos de rega pela insuficiente de água aplicada, onde a evaporação da mesma leva à concentração de sais na superfície do solo ou na da zona das raízes (Ayer & Westcot, 1985; Brady & Weil, 2014). A sobre exploração de aquíferos em áreas costeiras favorece a intrusão de água salina e consequentemente a ascensão de sais que podem afectar os horizontes do solo (Foster & Shah, 2013). A salinização dos solos dá lugar à formação de diversos solos do grupo principal *Solonchaks* (Solos Salinos), que têm um horizonte sálico ou, seja, com uma condutividade eléctrica do extracto de saturação igual ou superior a 15 dS m⁻¹ ou então igual ou superior a 8 dS m⁻¹ se o pH do extracto de saturação for igual ou superior a 8,5 (WRB, 2006), esses solos pertencem aos grandes grupos dos *Salids* na *Soil Taxonomy* (ST, 1999).

O processo da sodização dos solos está associado à ocorrência de elevada percentagem de Na⁺ no complexo de troca que pode estar ou não associado a elevada concentração de sais solúveis. Este processo provoca a degradação da estrutura do solo, de modo que o movimento da água e do ar é severamente restringido (Sumner, 1993; WRB, 2006; Brady & Weil, 2014). A sodização dos solos está associada à imperfeita drenagem, à rega com água de má

qualidade, à utilização de métodos e de dotações inadequadas de água e de tempo de rega, ao uso de fertilizantes em excesso em condições de limitada drenagem (Richards *et al.*, 1954; Brady & Weil, 2014). Tipicamente, a sodização dos solos dá lugar à formação de solos do grande grupo *Solonetz* (Solos Sódicos), que têm um horizonte *natric* com uma percentagem de Na⁺ de troca igual ou superior a 15% da capacidade de troca catiónica dentro dos primeiros 40 cm ou da razão de adsorção de sódio igual ou superior a 13 e se o pH do extracto de saturação for igual ou superior a 8,5; equivalentes aos grandes grupos dos solos *natric* de várias Ordens da *Soil Taxonomy* (ST, 1999). O horizonte *natric* apresenta fraca estabilidade dos agregados e muito baixa permeabilidade. Quando seco, o horizonte *natric* torna-se duro a extremamente duro. Outras características adicionais que caracterizam o horizonte *natric* são: o pH (H₂O) elevado, o qual frequentemente é maior que 9,0; e a razão de adsorção do sódio, a qual deve ser igual ou maior do que 13 (IUSS Working Group WRB, 2006).

Tanto a salinização como a alcalinização dos solos afectam a produtividade das culturas. A primeira afecta as plantas pelo elevado potencial osmótico da água do solo, tornando-se mais difícil de ser removida pelas raízes (Richards *et al.*, 1954; Brady & Weil, 2014). A segunda, devido à percentagem de sódio de troca no solo que deteriora as propriedades físicas (Richards *et al.*, 1954; Brady & Weil, 2014), afecta as plantas pela deficiência de oxigénio, devido à degradação da estrutura do solo e à consequente limitação do movimento do ar, bem como pela redução da permeabilidade (Luächli & Grattan, 2012).

A área da Orla Litoral com precipitação média anual inferior a 500 mm - muito inferior à evaporação média anual - diferencia-se daquelas mais húmidas do interior do País, consideradas favoráveis à agricultura de sequeiro. De facto, as condições ecológicas da Orla Litoral limitam fortemente a prática de agricultura de sequeiro (Diniz, 1998). Porém, a Orla Litoral poderá dispor de grandes recursos hídricos, pois é atravessada por rios que transferem grandes quantidades de água (de boa qualidade) do Planalto Central para o Oceano, podendo as respectivas áreas aluviais ser objecto de utilização em culturas de regadio, nomeadamente culturas industriais, beneficiando da disponibilidade das águas subterrâneas que nelas se acumulam (Antunes, 1961). Foi a disponibilidade desses potenciais recursos da Orla Litoral de Angola que despertou em algumas áreas, desde meados do século XIX, grande interesse pelo desenvolvimento e expansão de culturas anuais e perenes de regadio, nomeadamente do algodão, da cana sacarina, da banana, de citrinos e de hortícolas (MIAA, 1967).

Entre as áreas de regadio da Província de Benguela tomaram grande relevância o

perímetro de rega da Catumbela, localizado na bacia hidrográfica do Rio Catumbela, em que o desenvolvimento da agricultura de regadio se baseou na exploração de águas superficiais do Rio Catumbela, e o perímetro de rega do Vale do Cavaco, localizado na periferia da cidade de Benguela e na bacia hidrográfica do Rio Cavaco, em que a expansão da agricultura de regadio se apoiou exclusivamente na exploração das águas subterrâneas (MIAA, 1967). Para além da pressão do uso das águas subterrâneas dessas áreas para agricultura de regadio, terá também ocorrido pressão sobre o uso das águas subterrâneas para o consumo humano e de animais; aliás, estudos de prospecção de águas subterrâneas realizados pelas Organizações das Nações Unidas evidenciaram uma grande pressão na região costeira de Angola, a Sul de Lobito até as províncias do Namibe e Cunene, onde no período de 1958 a 1964 foram perfurados 1300 poços, com profundidades variáveis e localizados perto de cursos de água (ONU, 1973).

Em 1961, a cultura da batata era dominante (cerca 1000 ha) no perímetro de rega do Vale do Cavaco, seguida das hortícolas e da banana, cada uma em cerca de 600 ha (Almeida, 1962); a rega era feita com motobombas que extraíam a água de poços (cacimbas), a profundidade até 15 m, e de furos (num total de 220) de profundidade entre 6 a 17 m (Almeida, 1962), sendo a rega realizada por gravidade. Em 1963, a área da cultura da batata era estimada em 1200 ha, com uma produção de 10 000 toneladas (Almeida, 1963). Em 1965 o Vale do Cavaco já contava com 145 explorações de bananeiras (667,9 ha) com uma produção estimada em 12 822 toneladas; seguiam-se as culturas da batata (873,7 ha), da cana sacarina (334,9 ha), das hortícolas (323,4 ha) e das forrageiras (97,8 ha). A área não cultivada era de 1439,1 ha, sendo 1059,7 ha associados à falta de água - evidenciando assim o agravamento do problema da escassez de água - e 379,4 ha associados a problemas de excesso de sais (MIAA, 1967). Nestas circunstâncias, Portela (1963) já referia que o problema da carência quase permanente de caudais de rega e o problema da salinidade dos solos e sua recuperação pela sua envergadura não podiam resolver-se sem participação do Estado. Em 1966, verificou-se uma redução da área cultivada com cana sacarina de 40% em relação ao ano anterior, devido à escassez de água para rega (MIAA, 1967), mas a área da cultura da banana triplicou em relação à do ano anterior (Andrade 1970).

A expansão e a intensificação das culturas de regadio no Vale do Cavaco na década de 60 avolumaram os temores quanto ao agravamento da carência de água e de riscos de salinização dos solos e da água do aquífero (MIAA, 1967). Com efeito, em 1967, com base em informação de que no Vale a salinização dos solos vinha-se tornando progressiva em algumas áreas em exploração agrícola e para determinar as causas e consequentemente propor

os meios de acção que impedissem a continuação e progressão da salinidade e assim como contribuir para a recuperação dos terrenos, que se tornavam impróprios para agricultura, foi realizado um estudo hidrogeológico do Vale do Cavaco, desde a Foz do Rio Cavaco até ao Cassongo (Marques, 1967). Os resultados de 39 amostras de água recolhidas em pontos piezométricos e em estações de captação revelaram que 30,8% das amostras apresentaram condutividade eléctrica inferior a $0,7 \text{ dS m}^{-1}$, 46,2% apresentaram condutividade entre $0,7$ e 3 dS m^{-1} e apenas 23,1% evidenciaram condutividade superior a 3 dS m^{-1} , sendo 11 dS m^{-1} o valor máximo determinado (Marques, 1967). Foi concluído que a progressão da salinização nos solos do Vale do Cavaco era devida à rega intensiva, que se processava sem o necessário sistema de drenagem e que a salinização das águas da toalha freática, em exploração, era provocada, generalizadamente, pela transferência para o aquífero dos sais solúveis removidos das formações geológicas envolventes do Vale do Cavaco (margas e argilas gipsíferas), pelas águas de escoamento superficial, assim como a rega de terrenos de culturas instaladas sobre margas e argilas gipsíferas que contribuíam também para a salinização das águas subterrâneas. Foi constatada ainda a existência de áreas com água subterrânea imprópria para o regadio e outras áreas com água subterrâneas adequadas para o regadio (Marques, 1967).

De 1967 a 1969 foi realizado um estudo sobre as características dos solos do Vale do Cavaco, tendo em mente a sua aptidão e utilização para o regadio (Diniz, 1974). Em 1969 a ocupação agrícola do Vale do Cavaco e o regadio foram intensificados, sendo cerca de 50% da área cultivada (mais de 2000 ha) vocacionada para o cultivo da banana; a produção desta era 10 vezes superior à verificada em 1964 e a área restante era ocupada por cana sacarina e diversas hortícolas (Andrade 1971). O sistema dominante era o de pequenas e médias unidades de exploração que totalizaram 170 empresas, exceptuando o canavial da Sociedade Agrícola do Cassequel (Diniz, 1974). Foi constatado que os solos não apresentavam restrições de utilização para o regadio, sendo na maioria dos casos bem drenados (Diniz, 1974). O número de furos de instalações de bombagem de água de rega do aquífero aumentou de 400, em 1966/1967 (Snamprogetti, 1986), em que a toalha freática se situava entre 5 a 7 m de profundidade e que vinha descendo $0,5 \text{ m}$ por ano (Marques, 1967), para 650 furos, tendo os caudais de consumo excedido consideravelmente a capacidade de recarga do aquífero, provocando uma descida alarmante da toalha freática (Diniz, 1974). O estudo, envolvendo uma área de 5.240 ha, revelou que os solos do Vale do Cavaco, a uma profundidade de $1,2 \text{ m}$, apresentavam condutividade eléctrica entre $0,1$ e 25 dS m^{-1} , sendo que 78% dos horizontes não apresentavam riscos de salinidade para a generalidade das culturas (CE entre $0 - 4 \text{ dS m}^{-1}$); dos

restantes, 9,3% eram ligeiramente salinos ($CE\ 4 - 8\ dS\ m^{-1}$), 7% dos horizontes apresentavam-se moderadamente salinos (CE entre 8 e $16\ dS\ m^{-1}$); e somente 5,8% dos horizontes eram fortemente salinos ($CE > 16\ dS\ m^{-1}$) (Diniz, 1974), correspondendo a horizontes sálícos (WRB, 2006). O mesmo autor conclui que 2.539 ha dos solos eram de elevada capacidade produtiva sem riscos de salinização, desde que se procedessem a regas adequadas e se utilizasse água de boa qualidade; 1.466 ha eram de boa capacidade produtiva, mas exigiam alguns cuidados, dada a manifesta tendência para a salinização, sendo recomendável o uso de regas abundantes e água de boa qualidade e nalguns casos o estabelecimento de drenagem; e somente 1235 ha eram de baixa capacidade produtiva, sem risco de salinização, mas com necessidades de fertilização orgânica e exigiam regas frequentes (Diniz, 1974). Sublinha-se, que estudos realizados em 1960 nas áreas agrícolas de regadio da Ex-Sociedade Agrícola do Cassequel, na Catumbela, identificaram solos Salinos, Salino-Sódicos e Sódicos, os quais foram objecto de recuperação com sucesso (Vaz, 1964). A percentagem de sódio de troca (PST) variou entre 0,5 e 53,4 %, sendo que 93 % dos horizontes e camadas dos solos não eram sódicos ($PST < 15\%$); somente 7% dos horizontes dos solos eram sódicos ($PST > 15\%$), correspondendo a horizontes nátricos (WRB, 2006). Só pontualmente foram identificados horizontes simultaneamente com riscos de salinidade e de sodicidade (Diniz, 1974).

O estudo de Diniz (1974) sugere que a salinização dos solos no perímetro de rega do Vale do Cavaco estava mais dependente de factores antropogénicos através do regadio, ou mais concretamente na medida em que se utilizava a água de rega de salinidade alta ou muito alta. Outros factores considerados foram: a grande expansão desde 1960 das áreas com cultura da banana e de outras culturas com o regadio, implicando enormes consumos de água, sem uma contrapartida de recarga conveniente do aquífero, o que terão contribuído para o abaixamento progressivo da toalha freática e influenciado a concentração de sais solúveis no aquífero; os sucessivos anos de escassez de chuvas na bacia hidrográfica; os sais transportados em solução nas águas de escoamento superficial provenientes das vertentes dos calcários e das margas, depositando-se em faixa na periferia do Vale. O estudo considerou a carência e a degradação da qualidade de água para rega como os principais factores da degradação dos solos por salinidade e eventualmente por sodicidade no Vale do Cavaco.

Para impedir a salinização dos solos e o aumento da concentração de sais solúveis no aquífero, o estudo considerava como solução a disponibilidade da necessária quantidade de água de boa qualidade, a qual podia ser obtida da derivação do Rio Cubal da Hanha para o Rio Cavaco, como solução para estabilizar o aquífero do Vale do Cavaco. O estudo destaca

três vantagens para a recuperação dos solos salinizados a realizar por lixiviação sem necessidade de recorrer a drenagem, nomeadamente a excelente permeabilidade, excepto nos solos coluvionais que apresentam moderada ou lenta permeabilidade; a ocorrência de estratos contínuos de areia perto da superfície do solo, funcionado como drenos naturais; e as toalhas freáticas estacionadas a alguns metros de profundidade. A disponibilidade de água e o domínio de uma rede de rega superficial alimentada por gravidade foi considerada no estudo como o sistema mais eficaz para resolver o problema da salinização dos solos no Vale do Cavaco (Diniz, 1974). Com base nos estudos realizados por Marques (1967) e por Diniz (1974) foi, então, implantado o projecto que permitiu a transferência de um caudal de água do Rio Cubal da Hanha na bacia hidrográfica do Rio Catumbela para o Rio Halo na bacia hidrográfica do Rio Cavaco para estabilizar a recarga do aquífero no Vale do Cavaco (Dias, 1973, Diniz, 1974).

Após a independência nacional, os pressupostos que asseguravam a gestão do aproveitamento do Vale do Cavaco ficaram postos em causa com o surgimento do conflito armado. No perímetro de rega ocorreu o abandono de áreas agrícolas por alguns dos seus proprietários e a intervenção do Estado com o confisco das áreas abandonadas. Em 1982, o sector estatal resultante do confisco das terras abandonadas deu lugar ao Complexo Agro-Pecuário do Cavaco que ocupava 2 146 ha, dos quais só 52,6% foram cultivados, passando o sector privado a ocupar 1888 ha, sendo 58,3% cultivados (Snamprogetti, 1986). As culturas fundamentais desenvolvidas foram a cana-de-açúcar, a bananeira, as hortícolas, as forrageiras, as mangueiras e outras culturas arbóreas. A área da cultura da banana diminuiu para 935 ha (Snamprogetti, 1986). Em 1986 havia cerca de 500 furos de vários tipos, nos quais funcionavam somente cerca de 250 motobombas (Snamprogetti, 1986).

Em 1986, foi realizado um estudo para a reactivação e desenvolvimento da produção agrícola do Complexo Agrário do Cavaco que envolveu 3.130 ha (Snamprogetti, 1986). Contudo, a informação disponível mostrou-se insuficiente para caracterizar o estado de salinidade e de sodicidade dos solos e da água, assim como para realizar as pertinentes comparações com os resultados de estudos anteriores (Diniz, 1974; Marques, 1967). Porém, o estudo reconhece mais uma vez a existência da problemática da carência de água subterrânea para rega das culturas e sugere várias alternativas para abastecimento de águas na área estudada (Snamprogetti, 1986).

No início na década de 90, o sistema de derivação do caudal de água Rio do Cubal da

Hanha degradou-se e deixou de fornecer água para estabilizar a recarga do aquífero do Vale do Cavaco (informação do Gabinete de Aproveitamento Hidroagrícola dos Vales do Cavaco e da Catumbela), o que terá reduzido a disponibilidade e afectado a qualidade da água de rega, tendo também contribuído para tal as periódicas secas na bacia hidrográfica do Rio Cavaco. A essa situação de escassez de água, associada às condições de clima árido, os sais transportados em solução nas águas de escoamento superficial que vêm das vertentes dos calcários e das margas depositando-se na periferia do Vale (Diniz, 1974), o fraco domínio das técnicas de regadio pelos agricultores e a falta de experiência dos novos agricultores terão contribuído para o agravamento dos riscos de salinização dos solos e de degradação da qualidade de água subterrânea, dando lugar a insucessos em algumas áreas que depois foram abandonadas pelos agricultores e em algumas das quais ocorreu o uso alternativo, como o de construções de bairros habitacionais (Snamprogetti, 1986; informação do Gabinete de Aproveitamento Hidroagrícola dos Vales do Cavaco e da Catumbela;).

A contínua escassez da água para o regadio, a inoperacionalidade do sistema de regularização e derivação do caudal da água do Rio Cubal da Hanha para o Rio Cavaco e a previsão da alteração nos padrões da precipitação e da ocorrência de outros eventos extremos tais como cheias, secas, alteração da temperatura, a subida do nível médio do mar (Boko *et al.*, 2007; IPCC, 2013; SARUA, 2014) constituem potenciais ameaças ao desenvolvimento da agricultura de regadio e podem agravar os riscos de salinização dos solos e de redução das produtividade das culturas no perímetro de rega do Vale do Cavaco. Dado que a gestão dos solos no perímetro de rega do Vale do Cavaco não se tem baseado no princípio da precaução dos possíveis ou já existentes riscos e incertezas quanto à natureza ou gravidade dos danos no respeitante à salinidade e sodicidade, assim como na garantia de assegurar rendimentos satisfatórios das culturas a curto e longo prazo, é em si mesma, existem muitas incertezas quando ao estado do solo e da água e da previsão de produtividade das culturas.

Em suma, passados 51 anos sobre o estado da qualidade da água do Vale do Cavaco (Marques, 1967) e 44 anos sobre o estudo de Diniz (1974) e considerando que os dados disponíveis sobre o estado do solo e da água do estudo da Snamprogetti (1986) são insuficientes para realizar uma análise comparativa com os estudos anteriores ou para compreender o ponto da situação do estado do solo e da água no perímetro de rega do Vale do Cavaco no respeitante à salinidade e à alcalinidade e sendo previsível a expansão da actividade agrícola e o aumento da pressão sobre o uso do solo e da água, é de todo conveniente que se avaliem as condições de salinização e de alcalinidade dos solos, bem

como a qualidade da água utilizada no regadio. Neste contexto, desenvolveu-se o presente estudo de caracterização do solo e da água com vista à utilização sustentável dos recursos agrícolas no Vale do Cavaco, cujos objectivos foram: avaliar o estado da salinidade e alcalinidade dos solos; a monitorização e a avaliação da qualidade da água de rega quanto à salinidade e à alcalinidade; e contribuir para a adequação da gestão da problemática da salinidade, da alcalinidade e dos recursos hídricos com vista à utilização sustentável dos recursos agrícolas do Vale do Cavaco.

O presente trabalho desenvolve-se em seis capítulos. O presente capítulo faz uma introdução geral sobre a Orla Litoral de Angola, abarcando a caracterização geológica, o clima, a vegetação, os solos e a problemática da salinização dos solos com particular interesse no Vale do Cavaco. O segundo caracteriza a área de estudo quanto à geologia e geomorfologia, clima, relevo, solos, vegetação e sistema de uso do solo. O terceiro aborda as metodologias utilizadas para o desenvolvimento das actividades de campo e laboratoriais. O quarto aborda os resultados respeitantes aos solos e à água. No quinto discutem-se os resultados do estudo com vista à utilização sustentável dos recursos agrícolas. Finalmente, no último apresentam-se as conclusões e as recomendações.

CAPÍTULO II

ÁREA DE ESTUDO

2.1. LOCALIZAÇÃO

O Vale do Cavaco localiza-se na Orla Litoral Sul de Angola, no Município de Benguela, sede da Província de Benguela, com a posição geográfica de 12° 35' de Latitude Sul e 13° 27' de Longitude (Snamprogetti, 1986), na zona periurbana da cidade de Benguela. Segundo MINAGRI (1987) o Vale do Cavaco propriamente dito tem uma área agrícola de cerca de 6 000 ha, dos quais 4 000 são utilizados em regadio (Figura 1).

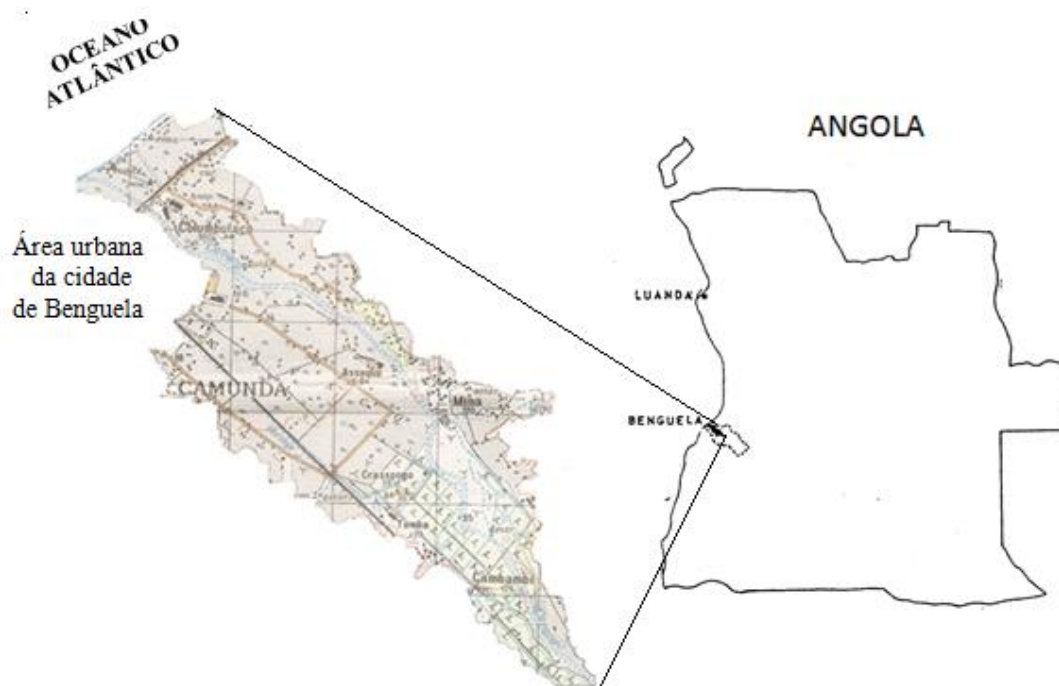


Figura 1. Localização da área do perímetro de rega do Vale do Cavaco, Angola. Adaptado de Diniz (1974) e IGCA (1981).

Os terrenos do Vale do Cavaco são considerados de grande aptidão para as culturas da banana, da batata e de hortícolas (Almeida, 1965). Dada a considerável extensão do Vale do Cavaco e o grande interesse económico que já representa para a agricultura angolana, julgou o Instituto de Investigação Agronómica de Angola (IIAA) ser útil instalar ali um centro de experimentação, de modo a poder apoiar as actividades agrícolas locais (Dias, 2012).

O Vale do Cavaco dispõe de apreciáveis benfeitorias e funcionais, sendo bem servido por rede viária em estado razoável e de fácil acesso aos grandes eixos asfaltados. Entre 2 a 2,5 km da foz é atravessado pela Estrada Nacional e pelo caminho-de-ferro que ligam a cidade de Benguela à cidade de Lobito e na margem em sentido paralelo ao rio Cavaco pelo caminho-

de-ferro que liga a cidade de Benguela à área de N´Bimbas.

O Vale do Cavaco está enquadrado na bacia hidrográfica do rio Cavaco, a qual abrange uma área com cerca de 4000 km² (CEPT, 1981) (Figura 2). A rede hidrográfica da bacia do Cavaco é de caudal temporário, exceptuando o Rio Halo, que apesar de se reduzir consideravelmente na época seca, chega a manter o caudal permanente (Diniz, 1998). O relevo da bacia hidrográfica do Cavaco, no sentido do oceano para o interior, situa-se na faixa altimétrica de 0 a 1200 m de altitude. O Vale do Cavaco, por sua vez, encontra-se na planície litoral, a uma altitude de até 78 m, na área limite do Perímetro de Rega (Bimbas). A Carta Geral dos Solos de Angola, Distrito de Benguela (CEPT, 1981; IICT, 2014) enquadra o Vale do Cavaco na hipsometria de 0 a 100 m (Figura 8). Tanto a Norte como a Sul, o Vale está envolvido por encostas que apresentam uma topografia muito ondulada, às vezes ravinada, mas a montante o Vale estreita-se e as encostas são mais abruptas e mais pedregosas (Teixeira, 1968).

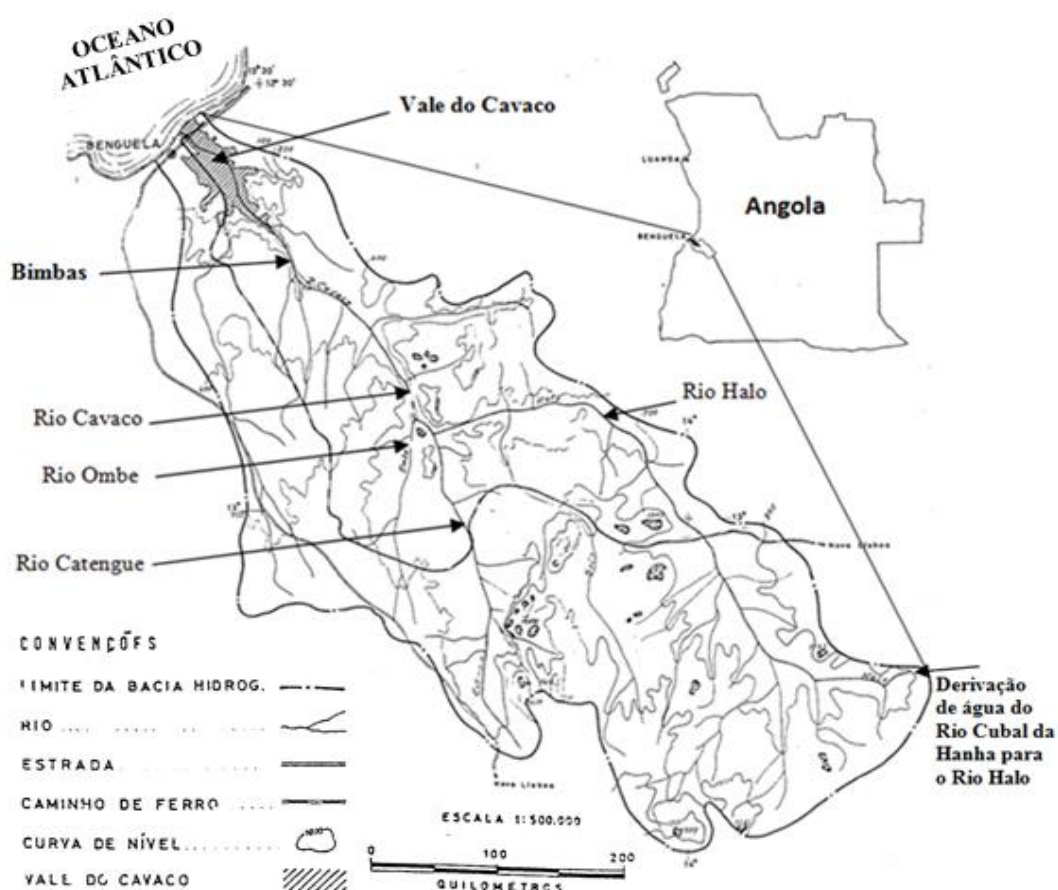


Figura 2. Bacia hidrográfica do rio Halo-Cavaco. Fonte: Diniz (1974)

O Vale do Cavaco é atravessado pelo rio do mesmo nome, de regime torrencial e intermitente, resultante da confluência do Rio Ombe, do Rio Catengue e do Rio Halo (localmente designado por Caimbambo ou Halo), que recebe também água derivada por adução do Rio Cubal da Hanha para estabilizar o aquífero do Vale do Cavaco. O Rio toma o nome de Cavaco a partir do ponto de confluência dos rios Ombe e Halo, a cerca de 50 km da foz e vai desaguar na orla marítima da cidade de Benguela (Silva, 1972). A partir da confluência dos rios Ombe e Halo até às N´Bimbas o rio de perfil em V apresenta leito rochoso onde corre superficialmente todo ano com caudal reduzido durante os meses de Agosto e Setembro. Das Bimbas até à foz a área aluvial alarga-se e o leito do rio serpenteia pela zona plana do vale, onde as águas se infiltram nas areias do seu leito e armazenam-se nos aquíferos da sua bacia. Este troço geralmente só comporta água à sua superfície na época das grandes chuvas.

A recarga do aquífero do Vale do Cavaco é feita normalmente através das águas subterrâneas, das poucas precipitações que ocorrem e da infiltração do rio de regime torrencial e intermitente que se perde a partir das zonas das N´Bimbas à foz. A descarga da bacia hidrográfica e do Vale ocorre naturalmente para o oceano Atlântico, assim como na região do Vale através da captação da água nos poços e furos abertos para o fornecimento às explorações agrícolas, pecuárias e industriais e o consumo doméstico na periferia da cidade de Benguela.

O perímetro de rega do Vale do Cavaco é actualmente gerido pelo Gabinete de Aproveitamento Hidroagrícola dos Vales do Cavaco e da Catumbela (GAHACC), que é uma entidade tutelada do Ministério da Agricultura (MINAGRI, 1987).

2.2. GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

A geologia da bacia hidrográfica do Cavaco compreende, no sentido do oceano para o interior, a *Orla Litoral*, as *Formações de Cobertura* e o *Maciço Antigo* (Mouta, 1954; CETP, 1981).

A *Orla Litoral* é fundamentalmente constituída por formações sedimentares de origem marinha ou continental que se distribuem desde o Cretácico inferior até ao Quaternário actual, ocorrem ainda rochas eruptivas que atravessam algumas daquelas formações sedimentares e integra formações plistocénicas constituídas por depósitos de terraços marinhos, cascalheiras

roladas, areias das actuais praias e antigas e aluviões de foz do actual rio Cavaco e antigos de curso de água.

As *Formações de Cobertura* compreendem couraças (lateritos) jazendo sobre rochas eruptivas ou sedimentares pré-câmbricas integrando o complexo base, observando-se extensas superfícies planas que podem representar formas de enchimento quaternárias onde predominam materiais essencialmente arenosos coluviados dos maciços rochosos adjacentes.

O *Maciço Antigo* compreende as formações geológicas Ante-câmbricas: Complexo de Base, formações sedimentares do Sistema Oendolongo e Rochas Eruptivas Ante-câmbricas e Não Datadas (CEPT, 1981). Intrusivas nestas formações podem ainda distinguir-se estruturas subvulcânicas de idade mesozóica. O Complexo de Base é constituído por rochas metamórficas relativamente pouco variadas, das quais as gnaisses, micaxistos e migmatitos são as mais vulgares. As formações sedimentares do Sistema Oendolongo evidenciam formações sedimentares pré-câmbricas constituídas por um conglomerado inferior e um outro superior. O conglomerado inferior é constituído por elementos rolados que atingem dimensões apreciáveis, a que se sobrepõem grés feldspáticos, grauvaques e xistos; o conglomerado superior é constituído essencialmente por uma alternância de rochas gresosas muito friáveis e quartzitos. As Rochas Eruptivas Ante-câmbricas e Não Datadas é um grupo de rochas granitóides que constitui o substrato do restante território da Província (Distrito) de Benguela para leste do Complexo de Base. A data dessas rochas é considerada problemática, daí a não especificação em termos de data (CEPT, 1981).

Na caracterização geomorfológica, a bacia hidrográfica do Vale do Cavaco está distribuída pela faixa litoral, pela zona de transição da região de Benguela e, em parte, pela cadeia marginal de montanhas (CEPT, 1981; Carvalho, 1980). O Perímetro de Rega do Vale do Cavaco desde a foz até uma distância de cerca de 18 km é delimitado por vertentes suaves que são constituídas, sucessivamente, por materiais calcários, calcários margosos, grés, margas, granito, quartzito e argilas gipsíferas, formações atribuídas ao Cretácico superior, Eocénico e ao Miocénico (Diniz, 1998; Marques, 1967).

2.3. CLIMA

O clima da bacia hidrográfica do rio Cavaco, no sentido do oceano para o interior, varia de seco de estepe a tropical chuvoso de savana (Diniz, 1998). A temperatura média anual é da ordem de 24 a 25°C e a precipitação média anual está compreendida nas isoietas entre 200 a

1000 mm. O número de dias de precipitação anual está compreendido entre 21 a 100 dias e o período de chuva ocorre em geral de Novembro a Abril, correspondendo ao período mais quente. No período de Maio a Outubro, correspondendo ao menos quente ou de cacimbo, a precipitação é praticamente nula (Diniz, 1998) (Figura 3).

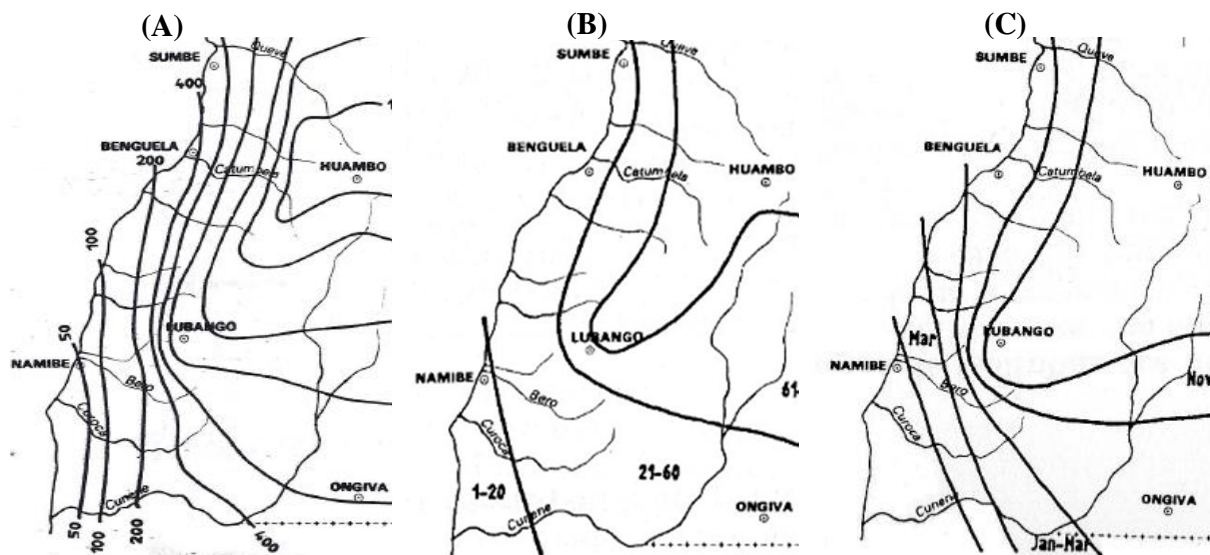


Figura 3. Precipitação média anual (mm) (A), números de dias de precipitação (B) e período de chuva no Sudoeste de Angola (C). Fonte: Diniz, C. A. (1998)

A estação de chuva caracteriza-se por uma distribuição muito irregular das precipitações, seja entre os vários anos e entre os vários meses dentro de cada ano (CEPT, 1981; Diniz, 1998).

Os dados climáticos do Posto Meteorológico da Estação Experimental do Instituto de Investigação Agronómica, instalada na área de estudo, foram considerados durante dois períodos distintos e apenas permite considerar normais climáticas Provisórias (Arguez *et al.* 2011). O primeiro corresponde ao período de 1952 a 1961 (Almeida, 1962) e o segundo corresponde aos dados disponíveis e compilados no período de 1993 a 2012.

2.3.1. Precipitação e evaporação

No período de 1952 a 1961 a precipitação média anual foi de 218,2 mm, um pouco superior à mediana (203,0 mm), variando entre 96,5 mm no ano de 1956 e 416,0 mm no ano de 1960, com uma amplitude de 319,5 mm (Figura 4A); neste período ocorreram quatro anos consecutivos de extrema seca devido a uma precipitação média anual inferior a 200 mm, no

período de 1953 a 1956. No período de 1993 a 2012 a precipitação média anual foi de 232,2 mm, sendo também superior à mediana (207,0 mm), oscilando entre 98,3 mm no ano de 2011 e 498,3 mm no ano de 2002, correspondendo a uma amplitude de 400,0 mm; verifica-se também a ocorrência de vários anos de extrema seca devido a precipitação média anual inferior a 200 mm nos anos de 1997, 1998, 2000, 2003 a 2005, 2009, 2011 e 2012 (Figura 5B). No período de 1993 a 2012 foi caracterizado por período com precipitação anual distribuída entre 6 a 9 meses (Figura 4B).

No período de 1952 a 1961, a evaporação média anual de Piche foi de 762,4 mm com variação entre 724,1 mm em 1961 e 812,2 mm em 1952 e amplitude de 88,1 mm (Figura 4A).

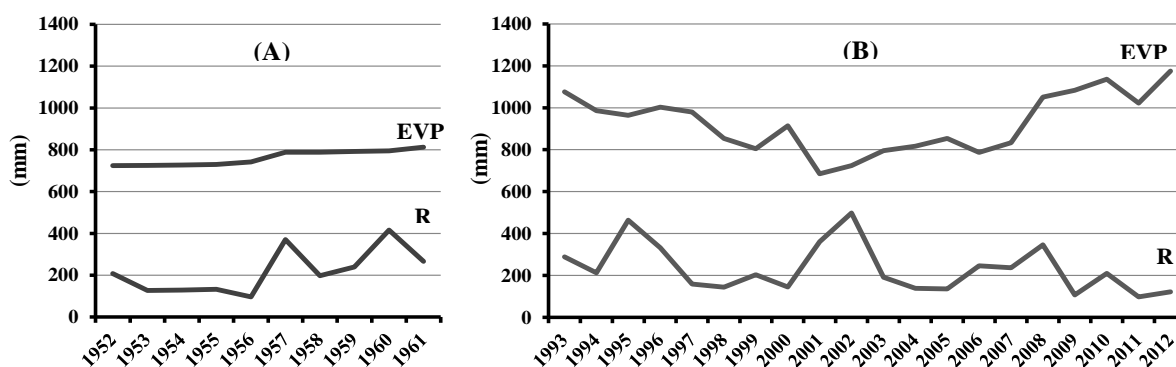


Figura 4. Precipitação (R) e evaporação (EVP) anuais no Vale do Cavaco nos períodos de 1952 a 1961 (A) e de 1993 a 2012 (B)

No período de 1993 a 2012, a evaporação média anual de Piche foi de 931,4 mm com variação entre 684,8 em 2001 e 1175,0 mm em 2012 e amplitude de 490,5 mm (Figura 4B); estranhamente os dados obtidos no segundo período foram superiores e com uma grande variação anual comparativamente aos compilados por Almeida (1962). Tais diferenças possivelmente podem- se associar à sobre estimação das leituras da evaporação de Piche realizadas por um único operário, cuja capacidade e habilidade de medição com esses instrumentos, que aparentemente estavam em bom estado de conservação e operacionalidade, pode ser posto em causa. A análise da precipitação no período de 1993 a 2012 mostra que em 20 % dos anos choveu menos de 138,3 mm, em 50% dos anos choveu menos de 207 mm e em 80% dos anos choveu menos de 335 mm (Figura 5). Nesse período a análise da precipitação do mês mais chuvoso (Março) mostra também que em 20 % dos anos choveu menos de 23,7 mm, em 50% dos anos choveu menos de 62,9 mm e finalmente, em 80% dos anos choveu menos de 154 mm (Figura 5). Tanto a análise da precipitação durante o período estudado

como a do mês mais chuvoso, mostram valores muito inferiores aos da evaporação no período e no mês mais chuvoso, respectivamente.

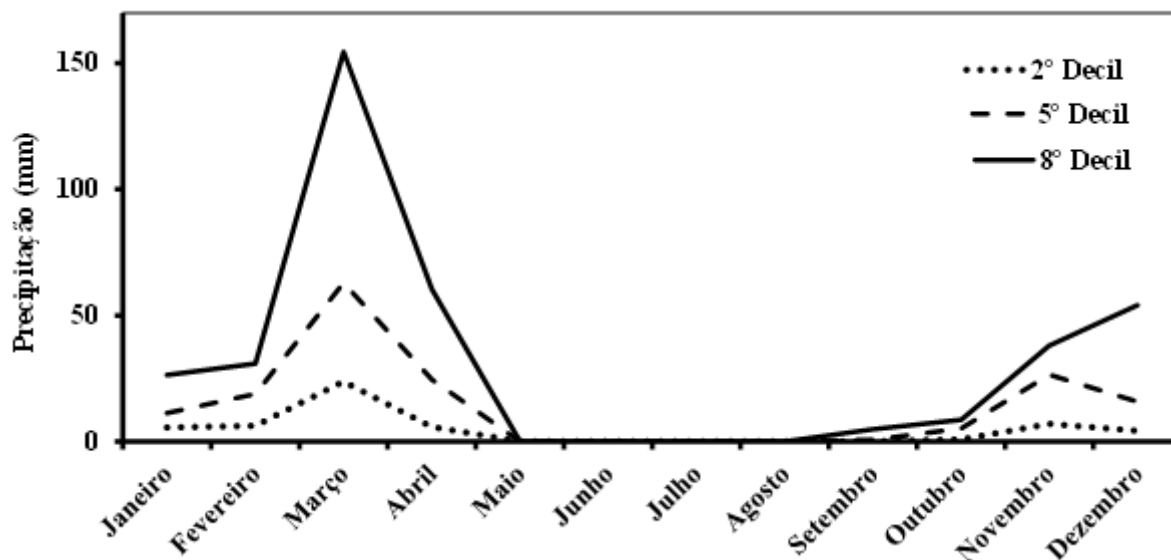


Figura 5. Precipitação mensal correspondente ao 2º, 5º e 8º decis, no período de 1993 a 2012

2.3.2. Temperatura e humidade relativa

No período de 1952 a 1961, a temperatura média anual foi de 24,4°C, variando entre 23,6 °C em 1956 e 25 °C em 1959 (Figura 6A); a temperatura média mensal variou entre 20,2 °C em Julho e 27,7 °C em Março, com uma amplitude térmica de 7,5 °C. No período de 1993 a 2012, a temperatura média anual foi de 24,8 °C variando entre 24,2 °C em 1994 e 25,8 °C em 1998 (Figura 6B), enquanto a temperatura média mensal variou entre 21,0 °C em Julho e 27,9 °C em Março, com amplitude de 6,9 °C.

Comparando os dois períodos verifica-se uma ligeira subida de temperatura no período de 1993 a 2012 em relação ao de 1952 a 1961. Tal tendência pode ser confirmada também na subida da temperatura de superfície nas zonas costeiras de Angola que subiu entre 0,2 e 1,0 °C entre 1970 e 2004 (SARUA, 2014).

No período de 1952 a 1961, a média anual da humidade relativa do ar foi de 71,6%, variando entre 70% em 1953 e 73% em 1960, com uma amplitude anual de apenas 3%; a média mensal variou entre 67,9% em Fevereiro e 75,10% em Julho, com uma amplitude mensal de 7,2%. No período de 1993 a 2012, a humidade relativa média anual foi de 74,5%

variando entre 71% em 2011 e 77% em 2001, com amplitude anual de 6%, a média mensal variou entre 71,2% em Janeiro e 79,1% em Julho, com amplitude de 7,9%.

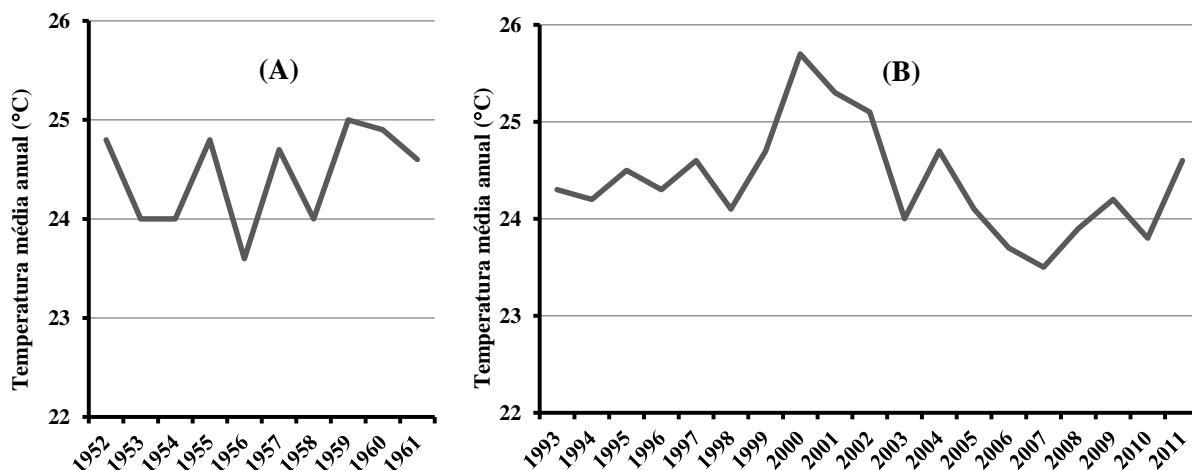


Figura 6. Temperaturas médias anuais (T) dos períodos de 1993 a 2012 (A) e de 1952 a 1961 (B) (Almeida, 1966) no Vale do Cavaco

O clima do Vale do Cavaco caracteriza-se, assim, pela baixa e irregular distribuição da precipitação, forte variabilidade entre os anos e entre os meses de cada ano (Almeida, 1962; Diniz, 1974 e 1998). Estas características climáticas indicam de forma clara que as actividades agrícolas no Perímetro do Vale do Cavaco estão dependentes da quantidade de água do respectivo aquífero.

A partir de dados da Estação Experimental do Instituto de Investigação Agronómica - período 1968 a 1974 - Franco (1993) relatou que o regime térmico dos solos do Vale do Cavaco é hipertérmico com temperatura média de 27,04°C e o regime de humidade é árido fraco.

2.4. SOLOS

A bacia hidrográfica do Rio Cavaco, dada a sua extensão e diferentes condições ecológicas, inclui uma grande diversidade de solos: *Solos Aluvionais*, *Solos Calcários*, *Barros*, *Solos Arídicos Tropicais*, *Litossolos* e *Terrenos Rochosos*, *Solos Psamíticos*, *Solos Fersialíticos Tropicais*, *Solos Paraferalíticos* e *Solos Ferralíticos* (CEPT, 1981). Os solos do perímetro de Rega do Vale do Cavaco são caracterizados na Carta dos Solos do Distrito de Benguela, na escala 1:500 000, como *Solos Poucos Evoluídos Aluvionais Fluviais* (CEPT,

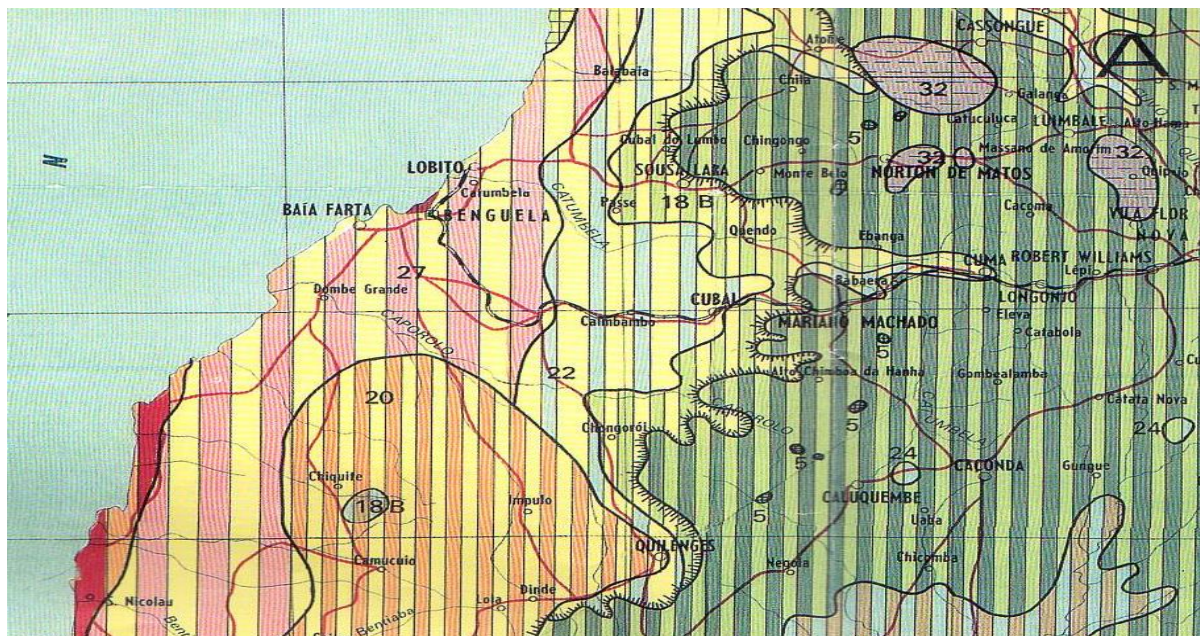
1981) desenvolvidos sobre depósitos aluviais que apresentam características muito variadas no respeitante à granulometria. Segundo a classificação da WRB (2006) corresponderão genericamente aos *Fluvisolos*.

Na carta de solos do Perímetro de Rega do Vale do Cavaco, na escala 1:25 000, consideraram-se três agrupamentos de solos, de acordo com as características dos sedimentos depositados (Diniz, 1974): *Solos Aluvionais*, *Solos Coluvionais* e *Solos Aluvionais-Coluvionais*, com representação sensivelmente equivalente. Os primeiros estão relacionados com materiais transportados pelo rio, vindos da bacia a montante da planície com uma característica comum, a ocorrência de substrato de areia grossa e saibro, muito espesso, com profundidade não superior a 90 cm, sobre o qual se depositaram os sedimentos finos. Os segundos estão distribuídos por uma faixa central continuada na planície do Cavaco, correspondem a cerca de 34% da área total e estão directamente sob influencia de arrastamento dos morros que ladeiam o Vale do Cavaco, de formações sedimentares brandas e ou facilmente solúveis, na maioria dos casos de origem marinha, onde afloram calcários, calcários margosos, margas e grés calcários. Estes materiais, arrastados pelas águas dos escoamentos superficiais, vêm-se acumulando na periferia da planície aluvionar, nalguns casos espalhando-se por extensões apreciáveis. Finalmente, os terceiros, são de origem aluvionar, mas recebendo a influência, maior ou menor, de escoamentos das vertentes do Vale, dominadas por formações margosas, enriquecendo-se de carbonato de cálcio ao longo do perfil ou, pelo menos, nos seus horizontes superficiais. Ao mesmo tempo evidenciam elevados teores de sais solúveis. Os *Solos Aluvionais-Coluvionais* correspondem a 35% da área total.

2.5. VEGETAÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Cavaco caracteriza-se por vários agrupamentos de vegetação correspondendo a distintos climas, que vão do oceano ao interior, desde do árido, do semiárido e húmido seco, designadamente da costa para o interior: Formações de estepóides, sublitorais, arbustivas e herbosas (aplanações sublitorais do sul) onde se inclui a vegetação do Vale do Cavaco que envolve Formação de estepóides e estepes sublitorais, arbustivas e herbosas que integra as espécies de *Acácia*, *Commiphora*, *Colophospermum mopane* (Kirk ex Benth.) *Aristida*, *Schmidtia*, *Setaria*; Bosques e savanas de árvores baixas, arbustos e capins altos, que abrange as espécies de *Colophospermum*, *Terminalia*, *Albizia*, *Pterocarpus*, *Combretum*, *Hyparrhenia diplandra* (Steud.) e *Panicum*; Bosques (“Miombo”) ralos e savana dos declives mesoplanálticos que integra as espécies de *Brachystegia*

spicitormis var. *latfoliolata* Hoyle., *Julbernardia paniculata* (Benth) e com abundância de *Brachystegia wangermeeana* de Wild. (localizada) e *B. boehmii*; Floresta húmida, semidecídua, predominantemente zambeziaca, mesoplanáltica e submontana, que compreende



LEGENDA:



FORMAÇÕES FLORESTAS CERRADAS («CLOSED FOREST FORMATIONS»)

TIPO DE VEGETAÇÃO Nº 5 – Floresta húmida, semidecídua, predominantemente zambeziaca, mesoplanáltica e submontana (Distritos de Benguela, Huambo e Huila) *Newtonia*, *Parinari*, *Brachylaena*, etc.



FORMAÇÕES ESSENCIALMENTE CLIMATICAS («CLIMATIC FORMATIONS»)

FLORESTAS ABERTAS OU BOSQUES («WOODLANDS»)

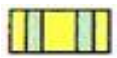
TIPO DE VEGETAÇÃO Nº 16 – «Missombo», savana e «ongote» submontanos (em solos ferralíticos ou afins, do planalto central) *Julbernardia pariculata*, *Brachystegia spiciformis* e *Brachystegia* spp. (*B. floribunda*, *B. puberula*, *B. tamarindoides*, etc.).



TIPO DE VEGETAÇÃO Nº 18B – «Missombo» ralo e savana dos declives os vales dos rios Queve e Cuanza, *Brachystegia spiciformis*, *Julbern*, *Brachystegia wangermeeana* (localizada) e *B. boehmii*.



TIPO DE VEGETAÇÃO Nº 20 – Bosques secos, decíduo, e mosaico de savana e estepe (em solos das baixas, normalmente barros pardos a vermelhos: impulo, Chitado: Pereira d'Eça, etc.



TIPO DE VEGETAÇÃO Nº 22 – Bosques e savanas de árvores baixas, arbustos e capim altos, da escadaria inferior do planalto central) *Cochlospermum*, *Terminalia*, *Albizia*, *Pterocarpus*; *Combretum*, *Hyparrhenia*, *Panicum*.



SAVANA COM ARV ORES E/ OU ARBUSTOS («TREE AND OR SHRUS SAVANA»)

TIPO DE VEGETAÇÃO Nº 23 – Mosaico de savana, estepes e balcedos xeroífitos, com ou sem árvores dispersas, sublitorais (em solos argilosos, com manchas arenosas; Ambrizete, Luanda, Novo Redondo) *Adansonia*, *Sterculia*; *Acácia welwitschii*, *Dichrostachys*; *Guibourtia*, *Combretum*, *Strychnos*; *Setaria welwitschii*.



TIPO DE VEGETAÇÃO Nº 24 – Mosaico de savana herbosas ou com arbustos, bosques e floresta densa seca (em areias da Calaari: Cuito-Cuanavale, Baixo Longa, Mavinga) *Brachystegia bakerana*, *Burkea africana*.



ESTEPES («STEPPE»)

TIPO DE VEGETAÇÃO Nº 27 – Formações estepóides, sublitorais, arbustivas e herbosa (aplanações sublitorais do Sul) *Acácia*, *Compmiphora*, *Colophospermum*; *Aristidia*, *Schmiditia*, *Setaria*.



TIPO DE VEGETAÇÃO Nº 29 – Formações estepóides e estepes litorais, ralas, descontínuas, de ciclo vegetativo efêmero (em solos pardos e ferralíticos, com afloramentos: subdeserto de Moçâmedes) *Aristidia*, *Cissus*, *salvadora*, etc. e povoamentos de *Welwischia*, por vezes.



PRADOS («GRASSLANDS»)

TIPO DE VEGETAÇÃO Nº 32 – Prado de altitude ou «Anharas do alto» (em solos ferralíticos ou psamoferralíticos e delgados: plataformas superior do planalto central) *Protes*, *Parinari*, *Syzygium*, *Stoebe*, *Helihrysum*, *Ctenium*, *Fimbristylis*.

Figura 7. Vegetações dominantes na bacia hidrográfica Halo - Cavaco. Fonte: Barbosa (2009).

as espécies de *Newtonia buchananii* (Bak. Gilb & Bout.), *Parinari excelsa* sensu Hiern, *Brachylaena huillensis* O. Hoffm e finalmente «Miombo», savanas e «ongote», submontanos ferralíticos ou afins, do planalto central que compreende as espécies de *Julbernardia paniculata* (Benth) Troupin, *Brachystegia spiciformis* e *Brachystegia* spp. (*B. floribunda*, *B. puberula*, *B. tamarindoides*, Welw. Ex Enth.) (Barbosa, 2009; UNO, 1973) (Figura 7).

Por sua vez, a vegetação do Vale do Cavaco caracteriza-se por agrupamentos de vegetação herbácea com Formações de estepóides, sublitorais, arbustivas e herbosas que envolve espécies de *Acácia*, *Commiphora*, *Colophospermum mopane* (Kirk ex Benth.), *Aristida*, *Schmidtia*, *Setária* (Barbosa, 2009; UNO, 1973).

A cobertura vegetal primitiva desapareceu na sua quase totalidade, sacrificada pela ocupação agrícola, que estabelecia nítido contraste com a vegetação estépica das encostas adjacentes, reflectindo o condicionalismo edafo-climático de um meio de natureza margocalcária, extremamente seco, pouco permeável e com grau de salinidade elevado. A vegetação apresenta-se bastante esparsa, raquítica, pouco variada e constituída essencialmente por espécies xerófilas, calcícolas e halófilas (Diniz 1974, 2006). No auge da época chuvosa o terreno recobre-se de um tapete verdejante, de gramíneas de ciclo curto, sobretudo do género *Aristida*. Nas encostas da orla marítima, de solos fortemente salinizados, a vegetação herbácea adensa-se em resultado da dominância de *Chloris pubescens* (Diniz, 1974). Nos terrenos agricultados e abandonados do Vale surgem diversas espécies de herbáceas de que se destacam as *Portulaca oleracea*, as *Tribulus zeyheri*, as *Datura stramonium*, as *Physalis angulata*, as *Amaranthus caudatus* e as *Cyperus* *Cotundus*, var. *elongatus* (Diniz, 1974). Os pastos naturais no Vale do Cavaco são considerados doces (Diniz, 1998), muito apetecíveis pelo gado ao longo do ano, não perdendo o seu valor alimentar mesmo depois da secagem.

2.6. USO DA TERRA

A actividade agrícola no Vale do Cavaco remonta a 1860, onde se praticava da foz até à estrada Benguela-Catumbela, numa área de 250 ha a cultura do algodão e hortícolas. Em 1865 teve início a exploração de algodão na denominada “Bemposta”, com uma área de 800 ha (MIAA, 1967). Em 1914 surgiram as primeiras legalizações de terras pelos Serviços Geográficos e Cadastrais, tendo realizado 4 demarcações e em 1920 seguiram-se outras. Com a decadência da exploração “Bemposta”, os empregados apoderaram-se de alguns terrenos e passaram a trabalhar por conta própria. Em 1926 existia outra exploração de 240 ha que

evoluiu para uma área de 1040 ha. Esta foi dividida pelo proprietário em parcelas de 20/25 ha, sendo algumas delas exploradas pelo proprietário e outras (cerca 565,75 ha) arrendadas. Na mesma época surgiram as áreas exploradas pela Sociedade Agrícola de Cassequel (1260 ha), praticando-se a cultura da cana do açúcar em 200 ha, área que diminuiu de ano para ano, dado a escassez de água (MIAA, 1967). Em 1931 foi criada a Granja Administrativa de Benguela (Casa dos Rapazes). Em 1936 é instituído o Posto Algodoeiro e procede-se à demarcação de 500 ha para a Estação Experimental Algodoeira e à demarcação e legalização dos terrenos ocupados por particulares, deixando 13 reservas para as comunidades indígenas (concluído em 1939), com uma área de 111,96 ha que, por ocupação abusiva por parte de agricultores vizinhos e outros, veio a reduzir-se a 88,88 ha, em que a obtenção de água para rega se fazia com recurso a noras, cegonhas e motores (MIAA, 1967).

De 1961 a 1973 ocorreu no Vale do Cavaco uma considerável expansão do regadio intensivo, destacando-se a cultura da banana e da cana-de-açúcar. Em 1973, foi considerada a época de mais intensa ocupação agrícola, distribuindo-se pela banana (2000 a 2250 ha), batata (1000 ha), cana sacarina (463 ha), hortícolas (380 ha) e outras (50 ha) (Dias, 1973).

Em 1994, com a Lei das privatizações (Lei n.º 10/94, de 31 de Agosto), a área do sector estatal (Complexo Agro-Pecuário do Cavaco) foi privatizada, dando lugar ao surgimento de novos agricultores, alguns dos quais desprovidos de experiência agrícola (AN, 1994). Em consequência, seguiu-se o abandono de áreas agrícolas devido a insucessos, bem como o surgimento de zonas residenciais e infra-estruturas comerciais como uso alternativo. O fim do conflito armado, em 2002, proporcionou maior segurança para a realização de actividades económicas.

Em 2010, segundo informações dos agricultores a profundidade de captação de água variava entre 6 a 17 metros, tendo-se verificado, em 2012, um abaixamento da toalha freática em algumas áreas para cerca de 21 metros de profundidade, devido à seca ocorrida nos anos anteriores.

Algumas estações de captação devido a escassez de água no aquífero tiveram de ser colocadas em covas com profundidades entre 1,5 a 3 m para compensarem a profundidade de sucção para a captação da água para rega e ainda outras ficaram fora de serviço porque a tubagem de sucção encontrava-se acima da toalha freática. Salienta-se que essa prática de colocar as motobombas à abaixo do topo da superfície do solo já tinha sido utilizada em períodos anteriores de escassez de água no aquífero devido a seca prolongadas na região.

Não obstante as carências de água para a rega durante a realização do presente estudo constatou-se que a maior parte da área das explorações agrícolas era regada por gravidade (por sulco ou canteiros) e somente uma pequena área era regada por gota-a-gota, por micro aspersão e por aspersão (caso único de um pivô) (Figura 8).

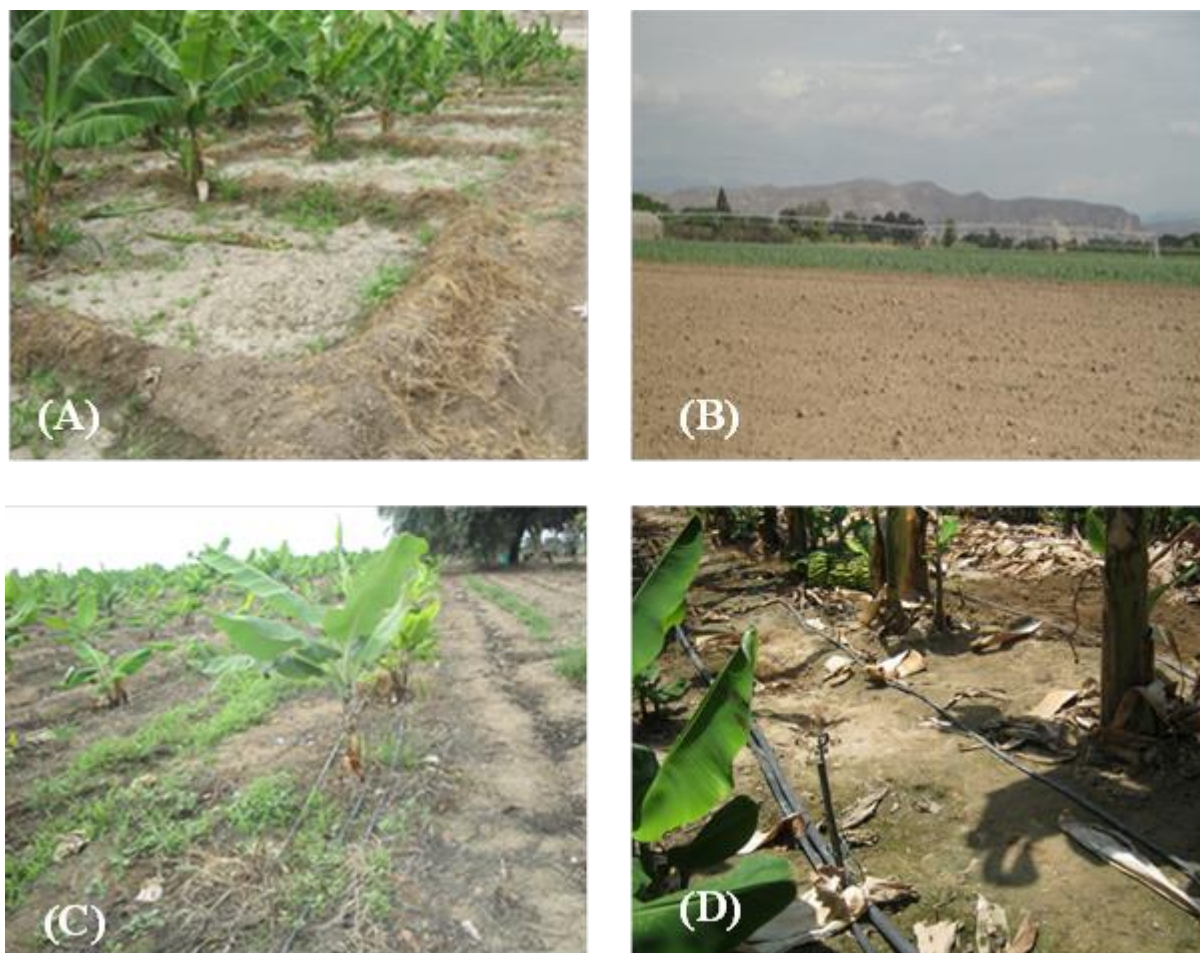


Figura 8. Sistemas de rega em uso no perímetro de rega do Vale do Cavaco. A – Rega de gravidade, B –, Rega por aspersão com pivô, C – Rega por micro aspersão e D – Rega gota-a-gota

Independentemente das condições de gestão das culturas, das práticas de preparação do solo e de tecnologias de regadio, as áreas cultivadas apresentam bastante diferenciação, havendo aquelas em que aparentemente as culturas apresentavam desenvolvimento normal, outras em que as culturas se apresentavam morfologicamente afectadas (em que os agricultores apontavam como possíveis causas a salinização dos solos ou a falta de disponibilidade de água para rega), ainda outras áreas abandonadas em que há alguns anos não se praticam as culturas usuais e que se caracterizam por muito pouca ou sem cobertura vegetal (Figura 9).

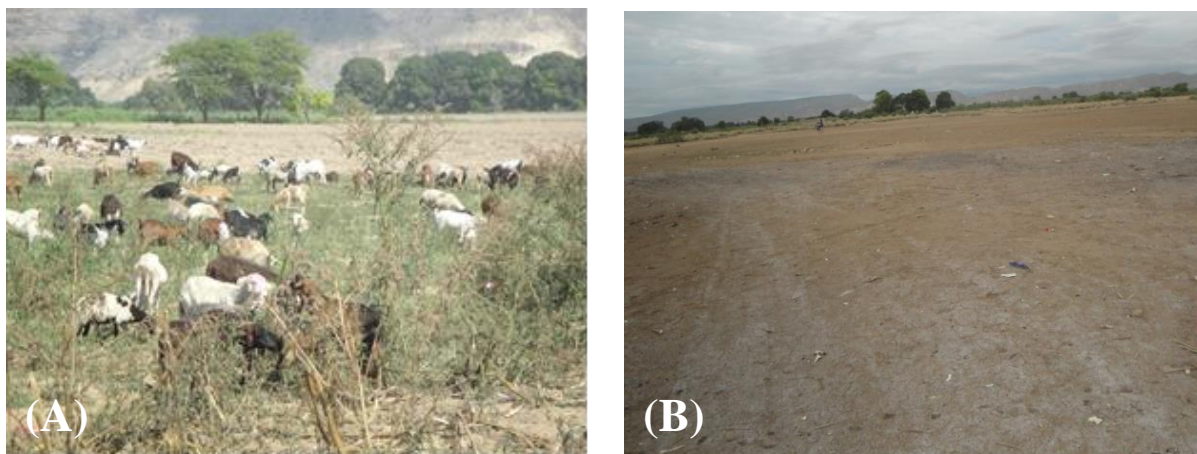


Figura 9. Áreas abandonadas no perímetro de rega do Vale do Cavaco: A – com pastagem para gado caprino e bovino e B – sem cobertura vegetal

Em suma, os problemas relacionados com o uso dos solos no Vale do Cavaco, nomeadamente a carência de água para rega, datam desde os primórdios da implantação das primeiras explorações e em que se associou posteriormente a tendência para alguns casos de salinização da água e dos solos. Com o aumento da área agricultável, no período de 1960 a 1973, e da intensificação do regadio, sobretudo da banana, grande consumidora de água (Diniz, 1974; Dias, 1973; MIAA, 1967; Marques, 1967; Portelas, 1963; Almeida, 1962) e que continuaram a ser agravados pela contínua carência de água para rega (Snamprogetti, 1986), situação que pouco contribuiu para a sustentabilidade da agricultura.

CAPÍTULO III

METODOLOGIAS

3.1. METODOLOGIAS DE CAMPO

3.1.1. Reconhecimentos preliminares

Para avaliação da situação do aproveitamento agrícola na área do Perímetro de Rega do Vale do Cavaco realizaram-se em Outubro de 2007 os primeiros contactos com o Governo da Província de Benguela, com o Gabinete de Aproveitamento Hidroagrícola dos Vales do Cavaco e da Catumbela (GAHACC) e com alguns agricultores em companhia do técnico responsável pelo Vale do Cavaco no GAHACC. Simultaneamente realizou-se o primeiro reconhecimento *in situ* do estado do uso agrícola do Vale do Cavaco, bem como do estado das diferentes culturas que nele são praticadas. Nesses contactos foram abordadas as preocupações quanto ao estado das culturas, à disponibilidade da água para a rega e à qualidade dos solos e da água de rega. Apontavam-se então como causas relevantes dos insucessos das culturas ora a salinização dos solos, ora a falta de disponibilidade da água de rega. Estas trocas de informações permitiram a preparação do plano da presente tese.

Em Novembro de 2010 foi realizado outro reconhecimento de campo, que consistiu também em contactos com os mesmos intervenientes. Foi então observado “*in situ*” o estado geral das culturas do Vale do Cavaco, a partir do qual foi concluída a existência de áreas em que aparentemente as culturas apresentavam desenvolvimento normal, de áreas em que as culturas se apresentavam morfológicamente afectadas (em que os agricultores apontavam como possíveis causas a salinização dos solos ou a falta de disponibilidade de água para rega), e de áreas abandonadas, em que há alguns anos não se praticavam as culturas usuais, cujas causas também não estão devidamente identificadas. Foi solicitado apoio ao Laboratório da Empresa de Saneamentos e Águas de Benguela (ESAB) para a realização das análises de água, o que foi superiormente autorizado pelo Governo da Província de Benguela.

Foi realizada, entretanto, uma revisão bibliográfica para compreensão dos resultados de estudos já realizados sobre o perímetro de rega, destacando-se: ” *Contribuição para o estudo da hidrogeologia do Vale do Cavaco*” (Marques, 1967), ”*Vale do Cavaco situação actual*” (MIAA, 1967), ”*Os solos do Vale do Cavaco: sua aptidão e utilização com o regadio*” (Diniz 1974), ”*Carta geral dos solos do Distrito de Benguela*” (CEPT, 1981) e Relatório final do Ministério da Agricultura sobre a ”*Reactivação e desenvolvimento da produção Agrícola do Vale do Cavaco*”, elaborado pela Snamprogetti (1986).

A partir dos reconhecimentos de campo, das opiniões dos agricultores abordados sobre

o estado das culturas, do solo e da água do Vale do Cavaco, bem como das preocupações levantadas pelo Gabinete de Aproveitamento Hidroagrícola dos Vales do Cavaco e da Catumbela relativas à qualidade da água usada para a rega e das condições dos solos, foi definido o esquema da amostragem dos solos e das águas de rega (e da toalha freática próximo da superfície), com vista à avaliação das características da água actualmente usada para rega e das características mais relevantes do solo.

3.1.2. Amostragens

3.1.2.1. Amostragem dos solos

Os locais de amostragem dos solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco foram definidos tomando em consideração a proximidade à linha de costa oceânica (na zona da interface entre a massas de água doce e da água do mar) e a representatividade das áreas em que aparentemente as culturas agrícolas apresentavam desenvolvimento normal, das áreas em que as culturas se mostravam morfologicamente afectadas - em que os agricultores apontavam como possíveis causas a salinização dos solos e a falta de disponibilidade de água - e das áreas abandonadas por causas que não estão devidamente identificadas. Elegeram-se também como locais de amostragem algumas das encostas das colinas (com calcários e margas) que limitam o perímetro de rega do Vale do Cavaco, as quais, segundo Diniz (1974), são potenciais zonas da origem de sais, devido ao escoamento superficial, depositando-se em faixa mais ou menos larga na periferia do perímetro de rega do Vale do Cavaco.

Face aos escassos recursos materiais e financeiros disponíveis e à fraca disponibilidade de apoios locais, apenas foi possível realizar a amostragem de 32 perfis de solo. A localização dos locais de amostragem e a designação dos perfis de solo observados foi realizada em mapa, com escala original de 1: 100 000 (Figura 10). Esses locais distribuíram-se: a) nas áreas com culturas que morfologicamente não se apresentavam aparentemente afectadas (PS1, PS2, PS4, PS13, PS14, PS15, PS16, PS17 e PS19); b) nas áreas com culturas cuja morfologia (altura, coloração, etc.) se desviava da normalidade - em que os agricultores apontavam como possíveis causas a salinização dos solos e a falta de disponibilidade de água (PS6, PS8, PS12, PS9, PS11, PS18, PS24, PS23, PS26, PS5e PS25); c) e nas áreas abandonadas pela actividade agrícola por causas nem sempre claramente identificadas (PS3; PS7; PS10; PS20; PS22 e PS18).

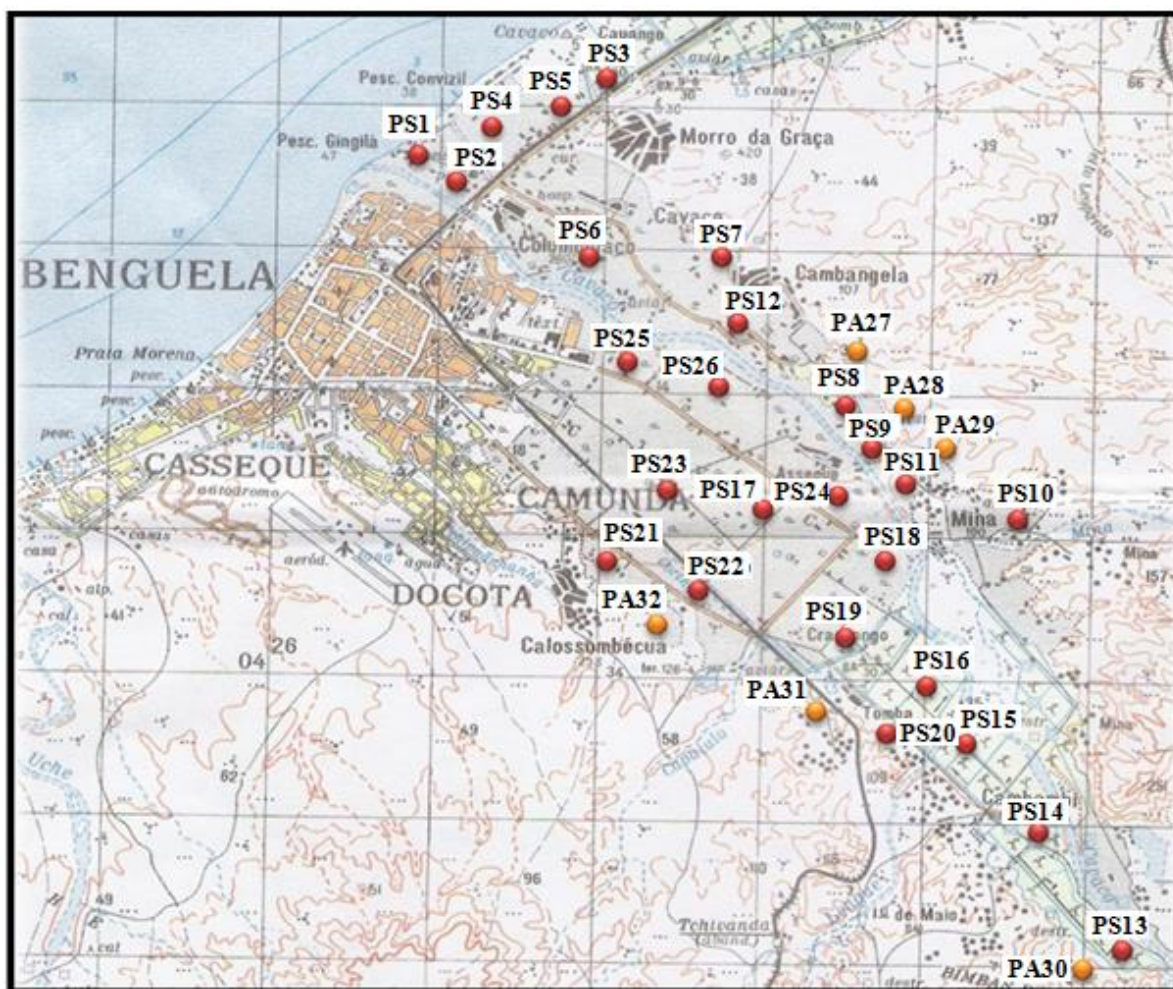


Figura 10. Localização dos solos estudados. PS – Solos localizados no perímetro de rega do Vale do Cavaco; PA – Solos localizados em colinas periféricas ao perímetro.

A amostragem foi efectuada a partir da abertura de covas para observação de perfis dos solos em áreas consideradas representativas e da descrição morfológica dos horizontes ou camadas de cada perfil, realizando-se em três etapas. A primeira etapa teve lugar em Novembro de 2010, compreendendo a abertura de 16 covas com a profundidade média de 2,2 m, com recurso a uma retroescavadora. Agosto de 2011 ocorreu a segunda etapa que compreendeu a abertura manual de 6 covas (PA27, PA28, PA 29, PA30, PA31, e PA32) (Figura 10), aproximadamente com 2,15 m de profundidade, em colinas limítrofes ao perímetro de rega do Vale do Cavaco, aproveitando as zonas das barreiras resultantes da abertura das recentes vias terraplanadas de acesso a diversas áreas à volta do perímetro de rega do Vale do Cavaco. A terceira etapa, sob a orientação e a participação directa do Co-Orientador, realizou-se em Março de 2012 e compreendeu a abertura ou reabertura de 26 covas, por via manual (enxada) até à profundidade de 1,4 m, para corrigir deficiências que foram detectadas na descrição morfológica e na amostragem dos perfis considerados nas primeira e segunda etapas.

A caracterização morfológica dos horizontes e camadas dos perfis foi realizada de acordo com a metodologia seguida pelo Centro de Estudos de Pedologia Tropical (CEPT, 1961 e 1968; Costa, 2011). Essa caracterização, descrita em boletim apropriado, consistiu na delimitação dos horizontes ou camadas identificáveis e registo das características morfológicas de cada um individualmente, considerando-se a textura, os elementos grosseiros, a estrutura, a consistência (dureza, friabilidade, plasticidade, adesividade), a compacidade, a porosidade, a presença de raízes (quantidade e tipo) e o estado de humidade do solo. Devido à exiguidade de tempo disponível, a cor foi identificada em laboratório (no Instituto Superior de Agronomia), utilizando a Carta de Cores do Solo de Munsell (Munsell Soil Color Charts, 1954).

As amostragens dos perfis foram efectuadas no período seco, com particular destaque para a terceira etapa realizada em Março de 2012, período normalmente considerado de chuva, continuando um longo período sem precipitação (desde o início de Janeiro). As amostras foram recolhidas nos horizontes ou camadas dos perfis descritos com a utilização de uma espátula e uma pá para saco de plástico (cerca de 2 kg); nos casos em que os horizontes ou camadas apresentassem espessura superior a 30 cm procedeu-se à sua subdivisão para efeitos de amostragem. A identificação das amostras (designação do local de amostragem, do perfil e horizonte de proveniência) foi feita em duas etiquetas, sendo uma colocada no interior do saco e outra no exterior. Depois da descrição morfológica dos perfis as covas foram tapadas e colocadas placas com as referências da Direcção Nacional de Hidráulica e Engenharia Rural com o número atribuído para referência e localização, em futuras observações.

As amostras foram secas ao ar e ficaram guardadas temporariamente em condições de ambiente natural. Cada amostra foi repartida em duas fracções mais ou menos equivalentes e uma foi homogeneizada e crivada de modo a separar-se a fracção fina (partículas com diâmetro menor a 2 mm) dos chamados elementos grosseiros (restantes partículas) e a outra ficou intacta (não homogeneizada) e guardada em Luanda em saco de plástico selado, para servir de reserva a utilizar em caso de extravio ou má utilização das amostras homogeneizadas. As amostras crivadas foram embaladas em sacos de plástico e seladas, identificadas e agrupadas por perfil de origem e transportadas para Lisboa (ISA/UL).

3.1.2.2. Amostragem da água de rega

A selecção e distribuição das estações de captação para a caracterização da água de rega foi realizada considerando também a proximidade à linha de costa, as informações gerais

sobre o risco de salinização do Vale do Cavaco (Diniz, 1974) e a representatividade das áreas com culturas com desenvolvimento considerado morfológicamente normal e das áreas com culturas que visualmente apresentavam morfologia que se desviava da considerada normal. A localização e a designação das estações de captação de água de rega seleccionadas foram realizadas em mapa com escala original de 1: 100 000 (Figura 11). As estações seleccionadas distribuíram-se por: a) áreas de culturas com desenvolvimento morfológico normal (CPS1, CPS2, CPS3, CPS13, CPS14, CPS16) e CPS25 e b) áreas com culturas que visualmente se apresentavam morfológicamente afectadas (CPS6, CPS7, CPS12, CPS9, CPS11 e CPS22).

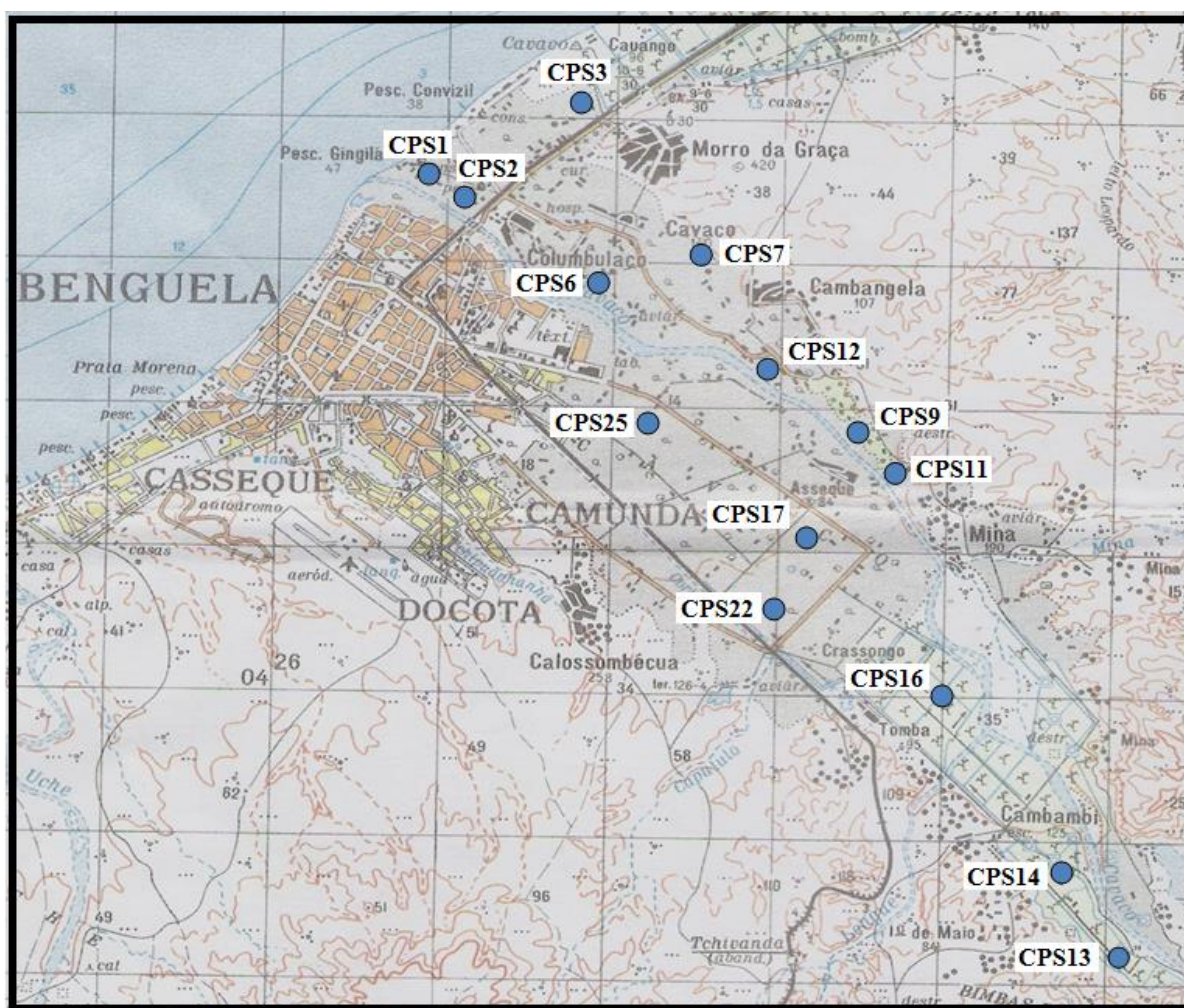


Figura 11. Localização das estações de captação para amostragem da água de rega no Vale do Cavaco. C – Estação de captação de água de rega; PS – Solo localizado na proximidade da estação de captação de água de rega amostrada.

Os furos realizados no Vale do Cavaco para instalação dos conjuntos de captação (Tubagem-Bomba-Motor) são semi-artesianos ou vulgarmente designados furos comuns, já que não jorram.

Para a realização da amostragem foram utilizados os procedimentos das Normas

Técnicas de Qualidade da Água de Rega para a Produção Integrada de Prunóideas da Direcção Geral da Agricultura e do Desenvolvimento Rural do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território de Portugal (2009 e actualizadas em 2010 e 2012) utilizadas no Departamento de Engenharia Rural do Instituto Superior de Agronomia na realização do Projecto Agro 530 *“Plano de intervenção e desenvolvimento de um sistema de Apoio à decisão para o norte da zona aluvionar do Tejo (Projecto Agro 530, 2007)”*.

Para amostragem, foram inicialmente seleccionadas 14 estações de rega operacionais (no início do estudo, em Novembro de 2010) com profundidade de captação entre 6 e 18 m, fazendo-se as amostragens em Março de 2011, Junho de 2011 e Setembro de 2011. Desde o início de 2011 e 2012, devido às baixas precipitações que ocorreram durante este período (cerca de 220 mm), ocorreu o abaixamento da tolha freática e verificou-se a diminuição continua dos caudais fornecidos pelas estações de captação. Em consequência, para a continuidade das amostragens, em 3 estações de rega (CPS17, CPS25 e CPS22 na Figura 13) tiveram que realizar-se escavações entre 2 a 3,5 m profundidade para colocar as motobombas e aprofundar as tubagens de sucção na mesma ordem de profundidade. Em 2 estações de captação (CPS9 e CPS16 na Figura 11), com escassez de água e onde não foram reposicionadas as motobombas, a rega foi abandonada porque a tubagem de sucção das motobombas se situava acima da toalha freática. Assim, a amostragem da água de rega em Dezembro de 2011 apenas teve lugar em 12 estações de captação (CPS7 e CPS22 avariadas); em Março de 2012 apenas se realizou a amostragem em 10 estações (as estações CPS3 e CPS17 estavam avariadas e as CPS12 e CPS11 com tubagem de sucção acima do nível freático), o mesmo acontecendo em Maio de 2012 (CPS22 avariada e CPS12, CPS9 e CPS11 com tubagem de sucção acima do nível freático); por fim, em Dezembro de 2012 apenas 8 estações foram objecto de amostragem (nas estações CPS7, CPS12, CPS9, CPS11, CPS14 e CPS17 a tubagem de sucção estava acima do nível freático).

A amostragem foi realizada com as estações de captação da água de rega em pleno funcionamento, de modo a garantir que a amostra da água fosse a representação instantânea do ponto de amostragem no momento da sua extracção. Nos casos em que a estação de captação da água de rega estivesse parada solicitava-se ao agricultor para a pôr em marcha, deixando-a funcionar cerca de 30 minutos, tempo considerado suficiente para que água da rega anterior remanescente na tubagem de sucção fosse vazada e estabilizado o funcionamento, garantindo assim que a amostra da água fosse igualmente a representação instantânea do ponto de amostragem no momento da sua extracção (DGADR, 2012).

Para a amostragem utilizaram-se garrafas (750 mL) de plástico quimicamente inertes, utilizando-se tampas de plástico que garantiam a vedação hermética, permitindo uma garantia de conservação da amostra. As garrafas lavaram-se várias vezes, conforme descrito nos procedimentos operacionais padrão de análise de salinidade e alcalinidade (DGADR, 2012). Depois de enchidas com água as garrafas foram identificadas pela designação da Estação de captação e da Fazenda, colocadas numa caixa térmica, transportadas para Luanda e conservadas em frigorífico à temperatura aproximada de 4 ° C. Florianópolis (2009), Motsara & Roy (2008) e Harter (2003) referem que este método de conservação é recomendado sem limitação de data para análise dos parâmetros de alcalinidade, condutividade eléctrica e sulfatos.

As amostras da água de rega das amostragens realizadas em Março, Junho e Setembro de 2011 foram apenas analisadas parcialmente no Laboratório da Empresa de Saneamento de Águas de Benguela (EASB) devido à falta de implementação de algumas metodologias e de alguns reagentes, nomeadamente para a determinação do magnésio, do potássio e dos sulfatos. Assim, prescindiu-se desse laboratório para a continuação da realização das análises indispensáveis ao evoluir do trabalho. Nestas circunstâncias foram realizadas novas amostragens no segundo ano em datas imediatamente antes de deslocações do doutorando a Lisboa.

Antes do transporte das amostras da água de rega (as colhidas de Dezembro de 2011 a Dezembro de 2012) para Lisboa foram embaladas em caixas térmicas seladas com fita-cola e transportadas para Lisboa. Todas as análises das amostras foram realizadas no Laboratório de Pedologia do Instituto Superior de Agronomia.

3.1.2.3. Amostragem de água de piezómetros

Os locais para instalação dos piezómetros de amostragem da água do aquífero superficial na área do perímetro de rega do Vale do Cavaco foram também definidos com base nos critérios de proximidade à linha de costa e na distância ao leito do rio Cavaco, tendo em consideração a carta de riscos de salinização do Vale do Cavaco elaborada em 1974 (Diniz, 1974).

A localização e a designação dos piezómetros instalados para amostragem da água do aquífero superficial foram realizadas em mapa original com escala de 1: 100 000 e estão indicadas na Figura 12. Os piezómetros ficaram distribuídos em áreas: a) próximas à linha de costa (ZPS1, ZPS2, ZPS3); b) próximas ao leito do rio Cavaco de regime torrencial (ZPS6, ZPS12 e ZPS25) e c) na proximidade da periferia e do centro do perímetro de rega do Vale do Cavaco (ZPS7, ZPS9, ZPS11, ZPS13, ZPS14, ZPS16, ZPS17, ZPS22, ZPS20, e ZPS21).

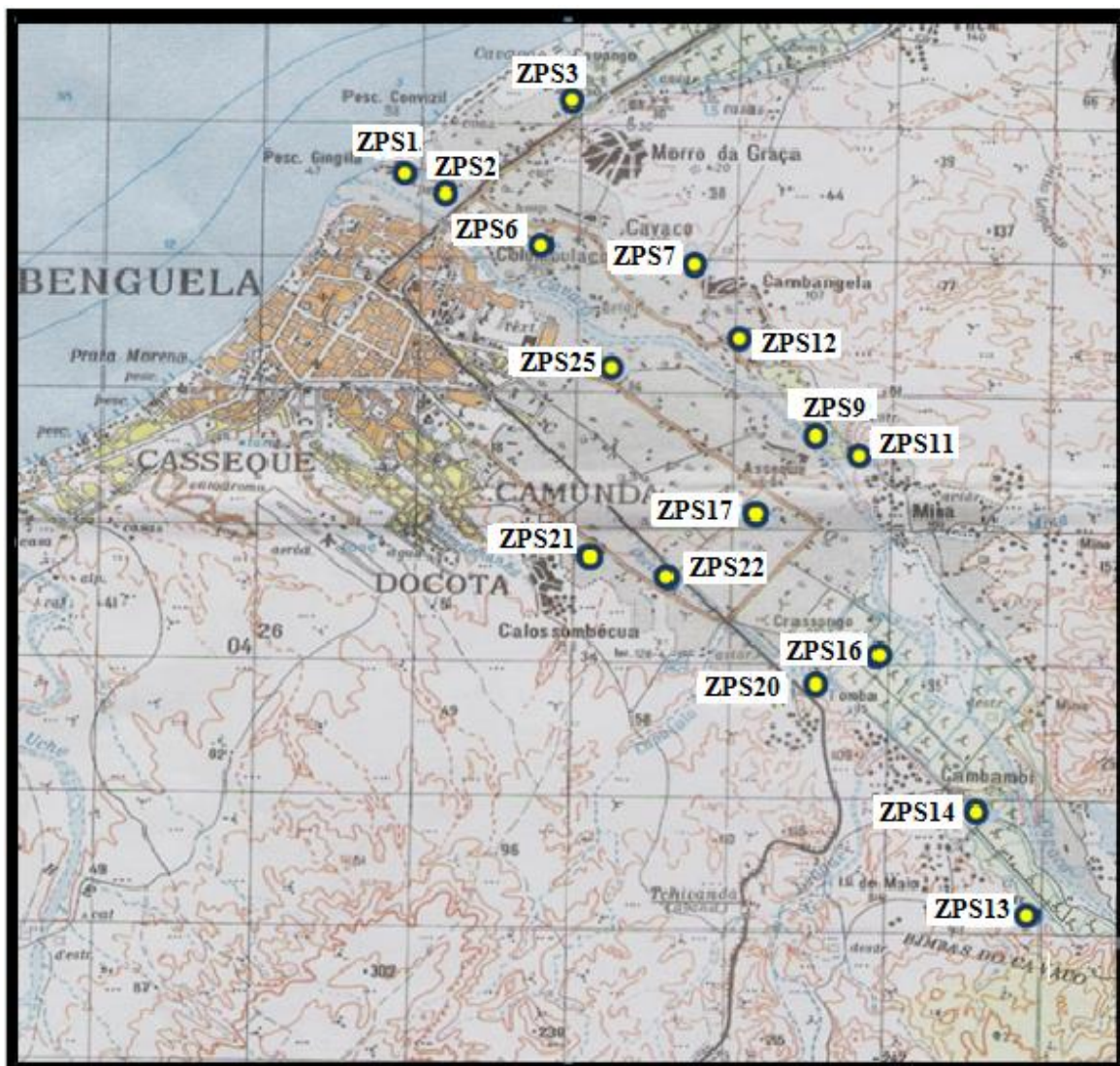


Figura 12. Localização dos piezômetros para amostragem da água do aquífero superficial no Vale do Cavaco. Z – Piezômetro; PS – Solo localizado na proximidade do piezômetro amostrado.

Foram instalados 16 piezômetros no perímetro de rega para avaliação da qualidade da água do aquífero. Para o efeito, o solo foi perfurado manualmente através de batidas repetitivas com um troço de ferro sobre um tubo de aço colocado numa sonda e dentro de um tubo que funcionou como uma câmara e girado frequentemente ou através da utilização do peso de operadores sobre chaves de correntes, que abraçavam o tubo de aço, com a sonda girando repetidamente num ângulo entre 30 e 60°. A sonda unida num extremo à corrente, que por sua vez no outro extremo estava ligada ao guincho colocado num tripé, no qual girava, elevando-a do solo. A sonda quando penetrava a uma certa profundidade no solo era depois removida, elevando-a através do accionamento manual do sistema giratório do guincho até fora da camara (tubo) e retirada a terra retida. Para facilitar a penetração aplicava-se água no

tubo, que funcionava como câmara de trabalho da sonda. Depois volta-se a introduzir novamente a sonda e repetir a operação, assim sucessivamente.

Os piezómetros instalados compreenderam tubos de PVC com cerca de 3,0 m de comprimento e 4,7 cm de diâmetro exterior, livres de toxicidade, corrosão e incrustação, com baixa rugosidade (paredes extremamente lisas) e reduzido atrito entre o fluido e o tubo. Foram abertos em cada tubo, em média, 46 orifícios ao longo de 1,5 m da parte inferior (na posição vertical), colocando-se em seguida sobre essa extensão uma malha fina de “rafia”, com dimensões de 0,8 m x 1,7 m, envolvendo o tubo de numa extensão de cerca de 1,65 m e fixada sobre o tubo com arame de cobre, com 3 mm de diâmetro. Essa malha tem a finalidade de evitar o entupimento dos orifícios do piezómetro pelo solo a volta do furo onde está instalado.

Depois de instalados os piezómetros, foram colocadas placas metálicas fixadas a 0,8 metros de altura, em suportes de varão de ferro cimentado no solo, a cerca de 50 cm de distância dos piezómetros, com as designações abreviadas de Direcção Nacional de Hidráulica Agrícola e Engenharia Rural (DNHAER), seguido de um número de identificação para a devida referenciação e localização. Para evitar a sua vandalização foram protegidos com rolhas de plástico para impossibilitar a entrada de material para o seu interior, assim como permitir a colocação de solo sobre os mesmos de modo a estarem disfarçados a visibilidade dos vários utentes que circulam pelos campos. Apesar dos cuidados referidos foram vandalizados três piezómetros (ZPS12 e ZPS25 por desconhecidos e ZPS9 pela empresa que realizou a obra de requalificação do dique de protecção marginal do rio Cavaco) durante o primeiro trimestre de 2011, não havendo possibilidade de os recuperar por falta de apoio local. No último trimestre de 2012 foi vandalizado outro piezómetro (ZPS1) por descuido de um tractorista durante a realização de lavoura no local.

Para a realização da amostragem foram utilizados os procedimentos das Normas Técnicas (DGADR, 2012) utilizadas no Departamento de Engenharia Rural do Instituto Superior de Agronomia, na realização do Projecto Agro 530. A amostragem consistiu na recolha de uma amostra da água do interior do piezómetro na parte inferior do tubo de PVC na zona do filtro de malha de “rafia”.

As amostras recolhidas nos piezómetros de Março 2011 a Setembro de 2011, foram analisadas parcialmente no Laboratório da Empresa de Saneamento de Águas de Benguela (EASB), prescindindo-se do apoio desse laboratório para a continuação da realização das análises pelas razões anteriormente referidas. As amostras de Dezembro de 2011, Março de

2012, Maio de 2012 e Dezembro de 2012 foram colhidas imediatamente antes de deslocações do doutorando a Lisboa. Contra as expectativas, somente em três piezómetros (PZ1, PZ2 e PZ3), os mais próximos da costa oceânica, foi possível fazer as amostragens. Para a amostragem utilizaram-se garrafas (750 mL) semelhantes às utilizadas nas amostragens das águas de rega das estações de captação atrás descritas. Na amostragem e organização das amostras seguiram-se os preceitos referidos para as amostras das estações de captação.

3.2. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

3.2.1. Solos

Pesquisas preliminares

A fracção fina (< 2mm) das amostras dos solos, antes da realização das determinações analíticas previstas, foi objecto de pesquisas preliminares respeitantes aos cloretos, sulfatos e carbonatos. Para a *pesquisa dos cloretos e sulfatos* deitou-se num tubo de ensaio uma colher da fracção fina e adicionaram-se 7 mL de água destilada e três gotas de ácido acético a 25%. Após agitação (um minuto) e filtração, mediu-se 1,5 mL do extracto para um tubo de ensaio, a que se adicionaram três gotas de nitrato de prata a 5% e completou-se o volume a 4 mL. O grau de turvação aferido com uma escala permitiu avaliar qualitativamente o grau de presença de *cloretos*. Do extracto anterior mediu-se 1 mL para um tubo de ensaio a que adicionaram três gotas de cloreto de bário a 7% e levou-se o volume a 4 mL. O grau de turvação permitiu avaliar a expressão da presença de *sulfatos*. Para a *pesquisa dos carbonatos* deitou-se num vidro de relógio uma colher de fracção fina e adicionaram-se algumas gotas de ácido clorídrico a 10%, verificou-se o grau de efervescência; nos casos afirmativos determinou-se o teor de carbonatos.

pH e condutividade eléctrica

O *pH* foi determinado pelo método electrométrico usando um potenciómetro com eléctrodo de vidro combinado. Para o efeito, pesaram-se 10 g de fracção fina da amostra seca ao ar para um copo de 100 mL. Adicionou-se 25 mL de água destilada e deixou-se em contacto durante uma hora, agitando-se a suspensão manualmente de 10 em 10 minutos. Calibrou-se o potenciómetro com eléctrodo de vidro combinado com as soluções tampão pH 4 e pH 7, depois de ter marcado no aparelho a temperatura das soluções tampão. Imergiu-se o eléctrodo na suspensão depois de agitada, e fez-se a leitura do pH passados 60 segundos e

depois do valor estabilizar. No extracto de determinação do pH foi também determinada a condutividade eléctrica (CE) pela metodologia usada na determinação da CE no extracto de saturação do solo.

Análise granulométrica

A análise granulométrica para quantificar as partículas minerais do solo, agrupadas em classes de dimensões, foi realizada com base na Escala de Atterberg (Póvoas. & Barral, 1992; Costa, 2011): areia grossa (2 mm – 0,2mm Ø); areia fina (0,2 mm – 0,02 mm Ø); limo (0,02 mm – 0,002 mm Ø); e argila (< 0,002 mm Ø). Para tal, pesaram-se 20 g de amostra seca a 100-105°C e colocaram-se num copo de 800 mL. Para oxidação da matéria orgânica adicionou-se à amostra 15 mL de água destilada e 15 mL de água oxigenada a 30% (100 volumes). Os copos com a suspensão ficaram em repouso durante uma noite e em seguida colocados numa placa de aquecimento, adicionando pequenas quantidades de água oxigenada até o líquido sobrenadante se apresentar límpido e incolor. Adicionou-se, então à suspensão água destilada até aproximadamente 300 mL, e deixou-se em ebulição lenta até eliminar o excesso de água oxigenada. Para dispersão das partículas, a amostra foi transferida para um frasco de agitação, adicionando-se 20 mL de solução dispersante (35,7 g L⁻¹ de hexametáfosfato de sódio e 7,49 g L⁻¹ de carbonato de sódio) e cerca de 400 mL de água destilada. Nas amostras que apresentavam carbonatos, em vez do dispersante anterior, utilizou-se de uma solução do dispersante tripolifosfato de sódio a 5% (15 mL). As amostras que apresentavam cloretos e sulfatos foram lixiviadas, antes da dispersão, com porções de 30 mL de água destilada, por filtração num funil de Büchner, com papel de filtro, até à eliminação dos cloretos (teste com AgNO₃) e dos sulfatos (teste com BaCl₂).

As suspensões foram agitadas num agitador de vaivém durante 16 horas. Depois da agitação procedeu-se à determinação da fracção areia grossa pelo método da crivagem, da areia fina pelo método da sedimentação e decantação e das fracções limo e argila, pelo método da pipetagem. A classificação da textura foi efectuada utilizando o diagrama triangular de classificação da textura de Gomes & Silva (1962).

Mineralogia da fracção argilosa

A avaliação da composição mineralógica da argila foi feita por difracção de RX em montagens orientadas sobre lâmina de vidro. As amostras foram varridas no estado natural, sujeitas a glicolação e quando necessário, a aquecimento a 550 °C. Utilizou-se um difractómetro Philips (gerador PW 1732 e goniómetro °C 1050), equipado com uma unidade de controlo

computorizada PW 1710. Foi utilizada a radiação $K \alpha$ do cobre e uma velocidade de varrimento de $0,02^\circ 2\theta \text{ s}^{-1}$ ao longo do intervalo $2-50^\circ 2\theta$ para as amostras no estado natural, $2-15^\circ 2\theta$ para as glicoladas e $2-15^\circ 2\theta$ para as aquecidas. A identificação das fases cristalinas presentes foi feita por comparação entre os picos detectados e padrões de difracção constantes de uma base de dados do tipo JCPDS/PDF. A avaliação da proporção das fases minerais identificadas é aproximada, tendo sido estimada a partir da área integrada das reflexões características dos minerais presentes, tendo em conta a respectiva capacidade reflectiva.

Carbonato de cálcio

Foi determinado pelo método de calcímetro (calcímetro de Gerhardt). Pesou-se de 0,5 a 5 g de amostra seca a $100 - 105^\circ\text{C}$, de acordo com o grau de efervescência produzida na pesquisa preliminar. Colocou-se a amostra no frasco e encheu-se o tubo de vidro que está ligado à rolha do frasco, com 15 mL de solução de HCl a 10%. Tapou-se o frasco. Encheram-se os vasos comunicantes e com a solução de KCl a 2% contida no frasco. Elevou-se o frasco até acertar os níveis superiores do líquido nos vasos. Fechou-se a torneira e ajustou-se bem a rolha do frasco. Inclinou-se o frasco para que o HCl caísse lentamente sobre a amostra do solo e em seguida agitou-se o frasco vigorosamente até que cessou a libertação de dióxido de carbono. Ao mesmo tempo abriu-se levemente a pinça de Mohr para que o líquido contido nos vasos se mantivesse sensivelmente no mesmo nível. Depois de cessar o desenvolvimento do CO_2 elevaram-se os vasos comunicantes ao mesmo nível. Fez-se a leitura do volume de CO_2 libertado e tomou-se nota da temperatura e pressão no momento do ensaio.

Carbono orgânico

Foi determinado pelo método de combustão por via húmida – Springer & Klee (Póvoas & Barral, 1992). Pesaram-se 0,15 a 5 g de amostra para um balão Erlenmeyer de 250 mL, ao qual se adicionaram 2 g de dicromato de potássio e 40 mL de solução de ácido sulfúrico (solução obtida com 250 mL de água destilada e 350 mL de ácido sulfúrico a 96%) e colocou-se um funil no colo do balão para evitar projecções. Mergulhou-se o balão, durante 10 minutos, num banho de óleo, a temperatura entre 157 e 160°C . Retirou-se o balão do banho e transferiu-se o conteúdo para um balão volumétrico de 200 mL, deixou-se arrefecer e completou-se o volume com água destilada, medindo-se com uma pipeta 50 mL para um balão de 250 mL. O dicromato que não foi utilizado na oxidação foi doseado por um agente redutor (sulfato ferroso) de título de cerca de 0,5 N, usando como indicador a difenilamina (10 gotas) (adicionou-se 10 mL de ácido orto-fosfórico a

85% para realçar a viragem). O teor de matéria orgânica determinou-se a partir dos valores do teor de carbono orgânico multiplicado pelo factor de conversão 1,724, estabelecido admitindo que a matéria orgânica contém 58% de carbono.

Fósforo e potássio extraíveis

O fósforo foi determinado pelo teste de Olsen (Olsen & Sommers, 1982). Pesaram-se 2,5 g de amostra seca ao ar para um frasco de plástico de 250 mL. Adicionaram-se 50 mL de NaHCO_3 0,5 M: com pH ajustado a 8,5 com hidróxido de sódio 1M. Agitou-se durante 1 hora em agitador rotativo, centrifugou-se a 3000 rpm e filtrou-se, recebendo-se o filtrado num balão de 100 mL. Caso os extractos apresentassem cor amarelo escuro, devido à presença de matéria orgânica, agitavam-se com carvão activado isento de fósforo e filtravam-se novamente. Paralelamente, fizeram-se dois ensaios em branco utilizando os mesmos procedimentos. O fósforo foi determinado por colorimetria segundo o método de Murphy & Riley, 1962 (Watanabe & Olsen, 1965).

O potássio foi determinado pelo teste de Egnér-Riehm (Póvoas & Barral, 1992). Pesaram-se 2,5 g de amostra seca ao ar para um frasco de plástico de 250 mL. Adicionaram-se 50 mL de uma solução de lactato de amónio 3,5 M e ácido acético tamponizado, com pH compreendido entre 3,7 e 3,8. Agitou-se durante 2 horas em agitador rotativo, centrifugou-se a 3000 rpm, filtrou-se e depois recebeu-se o filtrado num balão de 100 mL. Paralelamente, fizeram-se 2 ensaios em branco utilizando os mesmos procedimentos. O potássio foi determinado por espectrofotometria de absorção atómica.

Complexo de troca catiónica

O complexo de troca dos solos em estudo foi caracterizado pelo método de Mehlich a pH 8,1, o método utilizado para a caracterização dos solos para elaboração da “Carta geral dos solos de Angola”, incluindo o Distrito de Benguela, onde se localiza o Vale do Cavaco. Para o efeito, sobre a placa porosa de vidro de alongas colocou-se sucessivamente uma rodela de papel de filtro Whatman nº 40, uma camada de pasta de papel de filtro Whatman nº 41 com cerca de 0,5 cm de altura e uma nova rodela de papel de filtro Whatman nº 40. Sobre a almofada assim obtida deitou-se um peso de amostra conveniente (o peso utilizado dependia principalmente da textura do solo variando entre 7 e 10 g) e cobriu-se em seguida a amostra com uma rodela de papel de filtro Whatman nº 42. Colocaram-se as alongas no suporte, tendo por baixo um copo de 400 mL para receber o lixiviado. As amostras que na suspensão para

determinação do pH apresentavam condutividade eléctrica superior a $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ foram lixiviadas com a aplicação sucessiva de 20 mL de etanol 48% para garantir a lixiviação dos sais solúveis. Aplicaram-se 20 mL de solução de cloreto de bário-trietanolamina a pH 8,1 a cada alonga e deixou-se escoar completamente. Para assegurar a completa saturação do complexo de troca pelo Ba^{2+} fez-se a segunda lixiviação com 20 mL de uma solução de cloreto de bário 0,1 N. O excesso de bário foi eliminado por lixiviação com água destilada. As bases de troca (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} e K^{+}) foram determinadas, após passagem do conteúdo do copo para um balão aferido de 200 mL, por espectrofotometria de absorção de atómica.

A *capacidade de troca catiónica* foi determinada por substituição do Ba^{2+} adsorvido na amostra pelo Ca^{2+} , por lixiviação com uma solução de CaCl_2 0.33 M a pH 8,1. Adicionou-se às alongas com o solo saturado em Ba^{2+} (e ao ensaio em branco) 60 mL da solução de CaCl_2 a pH 8,1 aplicando-se 20 mL de cada vez de água destilada e recolheu-se os extractos em balões aferidos de 200 mL. Completou-se o volume dos balões com água destilada. Mediram-se 20 mL de cada balão (incluindo os balões padrões) para tubos de centrífuga de vidro de 50 mL. Adicionou-se 1 mL da solução de cromato de potássio a 10% e deixou-se em repouso durante a noite. Centrifugou-se a 3000 rpm e desprezou-se o líquido sobrenadante. Lavou-se o precipitado com 5 mL de uma solução saturada de cromato de bário, centrifugou-se a 3000 rpm e decantou-se rapidamente. Secou-se o precipitado na estufa a $100 - 105^{\circ}\text{C}$ durante 2 horas. O precipitado de cromato de bário foi dissolvido em 15 mL de ácido clorídrico a cerca de 9 %. Calibrou-se o espectrofotómetro UV/Visível com os solutos referentes aos padrões de calibração, no comprimento de onda 440 nm, permitindo obter, por leitura directa, o teor em bário nos extractos em $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ de amostra.

A partir da determinação das bases individuais de troca calcularam-se os valores da soma das bases de troca ($S = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$), do grau de saturação do solo em bases $[(S/\text{CTC}) \times 100]$ e da percentagem de sódio de troca $[(\text{Na}^{+}/\text{CTC}) \times 100]$.

Extracto de saturação

O extracto de saturação foi obtido a partir de uma pasta de saturação. Para o efeito, pesaram-se 250 g de amostra seca ao ar para uma taça de vidro. Humedeceu-se a amostra com água destilada e desionizada (condutividade $< 0,001 \text{ dS m}^{-1}$ a 25°C) e com uma espátula (de inox) e trabalhou-se a amostra de modo a incorporar a água até que a pasta resultante obedecesse às seguintes condições: apresentação de uma superfície brilhante, de modo que facilmente caísse da espátula e escorregasse lentamente pelo fundo da taça, quando esta se

inclinasse. Se a pasta apresentasse na superfície uma película de água (sinal de que o ponto de saturação foi ultrapassado), juntava-se mais amostra e retomava-se o processo. Se a pasta se apresentasse sem brilho e seca (sinal de que o ponto de saturação não foi atingido), adicionava-se mais água desionizada e retomava-se novamente o processo de preparação da pasta. Depois de obtida a pasta nas condições indicadas, deixou-se em repouso durante uma noite e no dia seguinte verificou-se se a pasta apresentava as características indicadas anteriormente. Depois colocou-se a pasta no tubo de centrifuga e foi centrifugada durante 30 minutos a uma velocidade de 4500 rpm. Retirou-se então o líquido sobrenadante (o extracto de saturação).

O pH no extracto de saturação foi determinado por método electrométrico. Calibrou-se o potenciómetro com eléctrodo de vidro combinado com as soluções tampão pH 4 e pH 7, depois de se ter marcado no aparelho a temperatura das soluções tampão. Imergiu-se o eléctrodo no extracto de saturação depois de agitado, e fez-se a leitura do pH passados 60 segundos e depois do valor estabilizar.

A condutividade eléctrica foi determinada por um condutivímetro com compensação automática de temperatura. Depois de calibrado o aparelho, as leituras correspondem à condutividade eléctrica das soluções a 25 °C. Acertou-se o «zero» do aparelho e verificou-se o valor da constante da célula (previamente determinado). Procedeu-se a imersão da célula e a sonda de temperatura no extracto de saturação e leu-se o valor da condutividade. Foi também determinada a condutividade eléctrica na suspensão solo/água na proporção 1:2,5 (para determinação do pH) utilizando o mesmo procedimento, para obter informação sobre a presença de sais para se ter em conta nas determinações que se realizaram nas propriedades gerais dos solos, complexo de troca catiónica e extracto de saturação.

Os catiões solúveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) foram doseados por espectrofotometria de absorção atómica. Fizeram-se diluições do extracto de saturação de modo a obter leituras dentro dos limites indicados no espectrofotómetro para cada elemento. Foram preparados os padrões de calibração, em balões volumétricos, a partir das respectivas soluções padrão (os volumes medidos dependiam das condições de trabalho do aparelho para cada elemento) de modo a anular possíveis interferências. A partir da determinação dos catiões individuais de troca calculou-se a razão de adsorção de sódio (RAS) do extracto de saturação do solo através da equação (Richards *et al.*, 1954; Brady & Weil, 2014).

$$SAR = \frac{\sqrt{Ca^{2+} + Mg^{2+}}}{2}$$

em que: RAS = Razão de adsorção de sódio, (adimensional), Na^+ = concentração de sódio, ($mmol_c L^{-1}$), Ca^{2+} = concentração de cálcio, ($mmol_c L^{-1}$) e Mg^{2+} = concentração de magnésio, ($mmol_c L^{-1}$).

Os bicarbonatos (CO_3H^-) foram determinados por titulação a partir de uma parte alíquota do extracto de saturação para um copo de 250 mL. Adicionou-se cerca de 100 mL de água destilada e cinco gotas de fenolftaleína. Se a solução fosse rosada, era sinal de que continham carbonatos (CO_3), titulava-se com solução de ácido sulfúrico 0,01 N até desaparecimento da cor (pH 8,2) e tomava-se nota do volume de ácido gasto na titulação. Adicionou-se à solução depois de titulada (ou à solução original, no caso de não ter aparecido a cor rosada em presença da fenolftaleína), cinco gotas de alaranjado de metilo e continuava-se a titular com a solução de ácido sulfúrico 0,01 N (sem levar a bureta a zero), até a viragem para a cor laranja (pH 4,5), tomava-se nota da totalidade de ácido sulfúrico gasto. Paralelamente fizeram-se dois ensaios em branco. Guardou-se a solução titulada e os ensaios em branco para a titulação dos cloretos.

Os cloretos (Cl^-) foram determinados por titulação com uma solução de nitrato de prata 0,01M, usando como indicador o cromato de potássio. Adicionou-se à solução, onde se determinaram os carbonatos e bicarbonatos, cinco gotas de cromato de potássio e titulou-se com uma solução de nitrato de prata 0,01 M. Quando já não houvesse cloretos em solução, o excesso de prata combina-se com o anião cromato, dando origem a um precipitado castanho-avermelhado de cromato de prata, que indica o fim da titulação. Titularam-se de igual modo os ensaios em branco.

Finalmente, para determinação dos sulfatos (SO_4^{2-}) mediu-se uma alíquota do extracto de saturação para um tubo de centrífuga de 25 mL, previamente pesado depois de seco na estufa a 100 – 105 ° C. Deitaram-se cinco gotas de alaranjado de metilo, algumas gotas de ácido clorídrico aproximadamente 1 M até aparecer a cor rosa e em seguida adicionou-se 1 mL do mesmo ácido para ficar em excesso. Aqueceu-se o tubo em banho – maria à temperatura de ebulição e deitou-se gota a gota 1 mL de cloreto de bário aproximadamente 1 N, agitando após a adição de cada gota, formando-se um precipitado de sulfato de bário. Mantendo o tubo no banho-maria durante 30 minutos, deixou-se arrefecer, centrifugou-se a

3000 rpm e decantou-se o líquido sobrenadante. Inverteu-se o tubo sobre papel de filtro durante 10 minutos. Com o auxílio de uma pipeta lavaram-se as paredes do tubo com 5 mL de etanol a 50% e desagregou-se o precipitado. Centrifugou-se a 3000 rpm e decantou-se o líquido sobrenadante. Repetiu-se a lixiviação com etanol a 50%, centrifugou-se e decantou-se. Secou-se o tubo com precipitado na estufa a 100 – 105 °C durante 24 horas, arrefeceu-se num exsiccador e pesou-se.

3.2.2. Água de rega e dos piezómetros

O pH, a condutividade eléctrica, os catiões e os aniões solúveis da água de rega das estações de captação e dos piezómetros, bem como os parâmetros associados, foram determinados pelas metodologias utilizadas nas determinações e caracterização do extracto de saturação.

3.3. PROCEDIMENTOS ESTATÍSTICOS

Os resultados obtidos foram organizados e tratados com a utilização do programa informático Excel 2010. Os gráficos de linhas foram determinados através da ferramenta do Excel inserir os respectivos dados com a função estatística linha que gera os respectivos gráficos num sistema de eixos cartesianos (x, y), enquanto os gráficos de colunas, de barras e circulares foram determinados também através da ferramenta inserir com a função estatística coluna que gera os gráficos das colunas de referências, com a função estatística barra que gera os gráficos de barras de referências e finalmente, com a função circular que gera os gráficos circulares de referências respectivamente. As correlações entre os valores obtidos para os diferentes parâmetros estudados foram determinadas através da ferramenta de análise de dados do Excel com a função estatística regressão inserindo os dados de dois conjuntos e depois o cálculo do coeficiente de correlação de Pearson (r) e do factor de significância e do p-value na análise de variância (ANOVA).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. MORFOLOGIA DOS SOLOS

Os solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco enquadram-se nas categorias taxonómicas como sendo pouco evoluídos influenciados pela topografia do revelo de planície do Vale. São formados a partir de materiais não consolidados provenientes da desintegração de matérias preexistentes, constituídos por depósitos estratificados de aluviões e recebendo em geral de tempo em tempo adições de sedimentos aluvionais e coluvionais. Dada a heterogeneidade dos materiais constituintes mostram tanto ao longo da extensão do perímetro de rega como entre as diferentes camadas dos solos uma morfologia diferenciada. Desse facto, os solos não apresentam horizontes genéticos de diagnósticos bem definidos. Alguns dos solos dos perfis apresentam também descontinuidade litológica na área da linha mais próxima da costa das camadas subsuperficiais e mais profundas em relação as camadas superficiais, nas áreas central, periféricas e de montante do Vale nas camadas mais profundas em relação as camadas superficiais e subsuperficiais. A caracterização morfológica dos perfis dos solos apresenta-se no Quadro 1.

De acordo com diferenciação morfológica observada, os solos do perímetro de rega foram classificados em 11 classes texturais, das quais as franco-arenosa e franco-argilo-arenosa são mais frequentes em relação as texturas arenosa, areno-franca, a franco-arenosa a franca e a franco-argilosa, que são menos frequentes, e as texturas franca, a areno franca a franca, a argilo-arenosa a franco-argilo-arenosa, a franco-argilosa a argilosa, a franco-argilosa e argilo-limosa que são ainda muito menos frequentes e que mostram-se de modo isolado.

Os solos mostram muito poucos elementos grosseiros, mostrando apenas na generalidade pouco saibro e poucos casos de solos com bastante e sem saibro.

A agregação dos solos mostra-se apreciável e variada quer na extensão do perímetro de rega como entre as diferentes camadas dos solos, sendo a agregação anisoforme angulosa e subangulosa predominante e a agregação granulosa e a prismática mostram pequenas representatividades na área central do perímetro de rega enquanto os solos sem agregação mostram uma representatividade residual na área mais próxima da linha da costa.

Os solos amostrados, atingidos pelas lavouras, cavas e outras mobilizações mostram uma compacidade variada que vai desde mínima a muito grande compacidade, sendo notória a grande e muito grande compacidade nas camadas superficiais e com maior acentuação nas camadas subsuperficiais, sendo também mais evidente nas áreas abandonadas e não cultivadas do que nas cultivadas. Tal facto, em alguns casos nas áreas abandonadas e não cultivadas,

Quadro 1. Características morfológicas dos horizontes ou camadas (Horiz) dos solos observados e amostrados no Perímetro Vale do Cavaco. (h) – estado húmido; TE – textura; EG – elementos grosseiros; AG – agregação; CP – compacidade; CT – consistência; PR – porosidade; RZ – raízes.

Perfil	Horiz	Prof (cm)	Cor (h)	TE	EG	AG	CP	CT	PR	RZ
PS1	Ap	0 – 30	10YR4/2	FA	sb1	gr3/4md, a2/3md	5	ad1; pl3	2mf/f	4f
	IIC1	30 – 60	10YR4/2	FAGA	sb1	ana3/4 md/ft	3	ad2; pl1	2mf/f	2f
	IIC2	60 – 90	10YR5/2	FAGL	sb1	ana3/4 md/ft	3	ad2; pl1	2mf/f	2f
PS2	Ap	0 – 25	10YR3/2	FAGA	sb1	an2/3 md, gr4 md	3	ad1; pl2	2mf/f	5f
	C1	25 – 60	10YR3/1	FAGA	sb1	an4 f/md	3/4	ad2; pl3	2mf/f	1f
	C2	60 – 100	10YR3/2	FAGA	sb1	an4 f/md	3/4	ad2; pl3	2mf/f	1f
PS3	Ap	0 – 25	10YR3/2	FA	sb1	wr	4	dr3	2mf/f	1f
	IIC1	25 – 50	10YR3/2	FAG	sb1	ana3/4 ft	5	ad2; pl2	2mf/f	1f
	IIC2	50 – 75	10YR3/2	FAG/A	sb1	ana4/5 ft	3	ad2; pl2	2mf/f	1f
PS4	Ah	0 – 0,20	10YR2/2	FAG	sb1	ansa3,4/5 md/ft	5	ad3; pl2	2mf/f	3f/md
	C1.	20 – 40	10YR3/3	FAG	sb1	an3/4 md	3	ad1; pl3	3mf/f	3f/md
	C2	40 – 60	10YR3/2	FA	sb1	ansa2/3f	2	ad; pl2	3mf/g	0
	IIC3	60 – 75	10YR3/2	FA	sb1	ansa2/3f	2	ad1; pl2	3mf/g	0
PS5	Ap	0 – 30	10YR6/4	FA	sb1	gran, f/md	4-	dr0/3	2mf/f	3f/md
	C1	30 – 50	10YR5/4	AF/F	sb1	anf	5	ad0; pl0	2mf/f	0
	C2	50 – 90	10YR3/3	AF/FA	-	anf	2	ad1; pl1/2	2mf/f	0
PS6	Ap	0 – 20	10YR3/3	FAG/AG	sb1	gr2/3, f	3	dr0/3	2mf/f	0
	C1	20 – 45	10YR3/3	FAG/AG	sb1	gr2/3, f	3	dr0/3	2mf, f	0
	C2	45 – 75	10YR4/2	FAG/AG	sb1	anasa,3,4/5	4	ad3; pl3	2mf, f	0
PS7	Ap	0 – 20	10YR6/3	AF	sb1	gr3/4md, an3/4 f	3/2	dr2/4	2mf/f	2mf
	C1	20 – 45	10YR5/3	AF	sb1	anasa ft	4	ad2; pl2/3	2mf/f	0
	C2	45 – 70	10YR8/4	A	sb1	anasa ft	4	ad2; pl2/3	2mf/f	0
PS8	Ap	0 – 20	10YR3/2	AF	sb1	gr2/3, f/md	2	dr0/2	2mf/f	3f
	C1	20 – 50	10YR3/3	FA	sb1	anasa 3, 4/5ft	4	ad2; pl2	2mf/f	3f
	C2	50 – 75	10YR3/3	AGA, FAGA	sb1	an3, 4/5, md/ft	5	ad2; pl2	2mf/f	0
PS9	Ap	0 – 20	10YR6/4	FA/F	-	gr2/3, f	2	dr2	2mf/f	2f/mf
	C2	20 – 45	10YR7/4	AF	sb1	angrsa4/5, f/md	3	ad1/2; pl1/2	2mf/f	0
	C3	45 – 85	10YR7/3	AF	sb1	angrsa4/ 5, f/md	3	ad1/2; pl1/2	2mf/f	0

Quadro 1 (Continuação 1).

Perfil	Horiz	Prof (cm)	Cor (h)	TE	EG	AG	CP	CT	PR	RZ
PS10	Ap	0 – 30	10YR7/3	FAGA	sb1	gr2/3, an2/3 f/md,	2/3	dr3	2mf/f	3f
	C1	30– 55	10YR7/4	FAG	sb1	ansaa3/4, md/ft	3/4	dr4	2mf/f	0
	C2	55 – 80	10YR5/4	FAGA	sb1	anasa3 /4, md	4	ad2; pl1	2mf/f/g	2/0
PS11	Ap	0 – 20	10YR5/4	FAGA	-	-	-	ad1/2; pl3-	2mf/f	2mf/f-
	C	20 – 85	10YR5/4	FAGA	sb2	ansaa3/4, md/ft	3/4	ad1/2; pl3	2mf/f	2mf/f
PS12	Ap	0 – 20	10YR4/2	FA	-	an, md	2/3	dr2/3	3mf/f	2mf/f
	C1	20 – 40	10YR4/2	FA/F	-	an, f/md	2/3	dr2/3	3mf/f	2mf/f
	IIC2	40 – 90	10YR4/2	FA/F	-	an, f/md	2/3	dr2/3	3mf/f	2mf/f
PS13	Ap	0 – 20	10YR4/3	AF	-	an2/3, f	2/3	ad1; pl1	2mf/f	3fmd/g
	C1	20 – 45	10YR6/4	A	-	ansa2/3, f	3	ad1; pl1	2mf/f	3mf/f
	IIC2	45 – 80	10YR7/3	A	-	ansa2/3, f	3	ad1; pl1	2mf/f	3mf/f
PS14	Ap	0 – 25	10YR4/2	FAGA	sb1	ansaa3, 4/5, ft	4/5	dr3/4	4f/mf	2mf/f
	C1	25 – 55	10YR3/2	FAGA	sb2	ansaa 4/5, ft	4	3ad2/3; pl3	4mf/f	2mf/f
	C2	55 – 85	10YR3/2	FAGA	sb2	ansaa 3, 4/5, md	3	2ad2; pl3	2mf/f	1mf/f
PS15	Ap	0 – 20	10YR6/3	FA	sb2	an asa, f/md	2	3ad1; pl1	2mf/f	3mf/f/md
	C1	20 – 50	10YR6/4	FA	sb2	an, f	2/3	3ad1; pl1	1f	3mf/f/md
	C2	50 – 75	10YR6/4	FAGA	sb2	an3/4, f	4	3ad1; pl2	1f/mf	2mf/f
PS16	Ap	0 – 25	10YR3/2	F	sb1	an3/4, md	2	2ad1; pl2	2mf/f	5mf/f/mg
	C1	25 – 50	10YR5/4	FAG	sb1	an3/4, md	2	2ad1; pl2	2mf/f	5mf/f/mg
	C2	50 – 75	10YR7/3	FAG	sb1	an3/4, f	3	2ad3; pl2	2mf/f	4mf/f/g
PS17	Ap	0 – 25	10YR6/4	FA	sb1	an4/5, md/ft	4	3ad1; pl2	2mf/f	3mf/f/g
	C1	25 – 50	10YR6/4	AF	sb2	an, f	2	2ad1; pl1	2mf/f	3mf/f/g
	C2	50 – 75	10YR6/4	FAGA	sb1	an, f/md	3	2ad1; pl2	2mf/f	2mf/f
PS18	Ap	0 – 25	10YR6/4	FA	-	an, md	5	dr3/4	2mf/f	4mf/f
	C1	25 – 60	10YR6/4	FA	-	an, md	5	ad1; pl1	2mf/f	4mf/f
	IIC2	60 – 100	10YR7/4	A	-	ansa2/3	3	ad1; pl1	2mf/f	3mf/f
PS19	Ap	0 – 20	10YR6/4	FAGA	sb2	an4/5, ft	4	dr4	2mf/f	2mf/f
	C1	20 – 45	10YR6/4	FAG	sb2	an4/5, ft	4	2ad1; pl3	2mf/f	2mf/f
	IIC2	45 – 75	10YR5/2	A	sb2	an4/5, ft	4	2ad1; pl3	2mf/f	3mf/f/md

Quadro 1. (Continuação 2).

Perfil	Horiz	Prof (cm)	Cor (h)	TE	EG	AG	CP	CT	PR	RZ
PS20	Ap	0 – 25	10YR6/3	FA	sb2	gr, an, f	2/3	dr3	2mf/f	0
	C1	25 – 50	10YR6/3	FA	-	an3/4f/md	4	dr2; 4	2mf/f	0
	C2	50 – 70	10YR6/4	FA	-	an, f	3/4	dr2	2mf/f	0
	IIC3	70 – 90	10YR7/4	FA/F	-	an, f	3/4	dr2	2mf/f	0
PS21	Ap	0 – 20	10YR6/4	FA	sb1	an4	3/4	dr2/4	2mf/f	4
	C1	20 – 55	10YR6/4	FA	sb1	an4, f	4	dr2/5	2mf/f	0
	IIC2	55 – 75	10YR6/3	A	sb1	an4, f	4	dr2/5	2mf/f	0
PS22	Ap	0 – 30	10YR6/3	FAGA	sb2	gran, f/md	2/3	dr2/3	2mf/f	0
	C1	30 – 60	10YR7/4	FA	sb2	anpr	4	dr3	2mf/f	2mf/f
	IIC2	60 – 80	10YR6/4	FA	sb2	anpr	4	dr3	2mf/f	2mf/f
PS23	Ap	0 – 15	10YR6/4	FA	-	an4, md	3	dr3/4	2mf/f/md	2mf/f/md
	C1	15 – 40	10YR6/4	FA	-	anpr	5	dr4	2mf/f/md	3mf/f/md
	IIC2	40 – 70	10YR7/4	A	-	anpr	5	dr4	2mf/f	3mf/f/md
PS24	Ap	0 – 25	10YR5/4	FAGA	-	anpr	5	dr4	2mf/f/md	2mf/f/md
	C1	25 – 55	10YR6/3	FA	-	anpr	3/5	dr3/4	2mf/f	2mf/f
	IIC2	55 – 75	10YR4/3	FA	-	anpr	3/5	dr3/4	2mf/f	2mf/f
PS25	Ap	0 – 25	10YR6/4	FA/F	-	an md	5	dr4/5	2mf/f	0
	C1	25 – 50	10YR6/4	FA/F	-	an md	4	dr2/4	2mff/md	0
	C2	50 – 75	10YR6/4	FA/F	-	ansa, f	3	dr2/3	2mf/md	0
PS26	Ap	0 – 25	10YR6/4	FAGA	-	anpr	5	dr5	1mf/f	4mf/f/g
	C1	25 – 50	10YR5/4	FAGA	-	anpr	5	dr5	1mf/f	4mf/f/g
	C2	50 – 75	10YR6/4	FAGA	-	an, md/ft	4	dr4	1mf/f/md	4mf/f/md

SIMBOLOGIA

TEXTURA (TE) – Arenosa (A), Arenosa-franca (AF), Arenosa-franca a franca-arenosa (AF/FA), Franca-arenoso (FA), Franca (F), Franca-argilo-arenosa (FAGA), Franca-argilo-limosa (FAGL), Franca-argilosa (FAG) e Franca-argilosa a argilosa (FAG/AG).

ELEMENTOS GROSSEIROS (EG): Saibro (sb); Proporção: algum (1), bastante (2), muito (3).

AGREGAÇÃO (AG):

Tipo: sem agregação (w), granulosa (gr), anisoforme (an), subangulosa (sa), angulosa (a), prismática (pr).

Classes: Muito fina (1), Fina (2), Média (3), Grosseira (4), Muito grosseira (5).

Grau: Fraca (f), Moderada (md), forte (ft).

COMPACIDADE (CP): Mínima (1), Pequena (2), Média (3), Grande (4), Muito grande (5).

CONSISTÊNCIA (CT):

Tenacidade ou Dureza (dr): Solto (0), branda (1), Ligeiramente dura (2), Dura (3), Muito dura (4), Extremamente dura (5);

Friabilidade (fr): Solto (0), Muito friável (1), Friável (2), Firme (3), Muito firme (4), Extremamente firme (5).

Plasticidade (pl): Não plástico (0), Pouco plástico (1), Plástico (2), Muito plástico (3).

Adesividade (ad): Não pegajoso (0), Pouco pegajoso (1), Pegajoso (2), Muito pegajoso (3).

POROSIDADE (PR): Pouco poroso (1), Moderadamente poroso (2), Bastantes poroso (3), Muito poroso (4).

Dimensões dos poros: muito finos (mf), finos (f), médios (md), grosseiros (g).

RAÍZES (RZ):

Proporção: Sem raízes (0), Raras (1), Poucas (2), Algumas (3), Bastante (4), Muitas (5).

Tipo: Muito finas (mf), finas (f), médias (md), grossas (g), muito grossas(mg).

dada a natureza dos instrumentos manuais utilizados e o esforço humano necessário para a abrir os perfis obrigou-nos a não fazê-lo nos lugares inicialmente pretendidos, mas em outros lugares próximos devido à muito grande compacidade com que nos deparávamos ao fazer a escavação.

A consistência dos solos mostra-se em estado seco variada entre branda a extremamente duras e uma proporção pequena de camadas mostrou solos soltos. No estado húmido dos solos, a friabilidade observada nos solos é variável, desde friável, firme, muito firme e extremadamente firme, do mesmo modo que em estado muito húmido, os solos apresentam também uma grande variabilidade de adesividade e plasticidade, sendo mais frequente os solos pouco pegajosos a pegajosos e pouco plástico a plásticos.

Na generalidade, os solos mostram quanto à abundância porosidade moderada, com poros muito finos a finos e em alguns casos médios a grandes.

Finalmente, os solos amostrados apresentam na maioria das camadas raízes que vão quanto à abundância desde raras, algumas, poucas e bastantes que diminuem das camadas superficiais para as camadas mais profundas e apenas uma minoria das camadas dos solos não apresentam raízes. As raízes predominantes na maioria parte das camadas dos solos observados são as muito finas a finas.

4.2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS SOLOS

4.2.1. Características físicas e mineralógicas

4.2.1.1. Granulometria

A concentração média das fracções granulométricas da areia (areia grossa e areia fina), do limo e da argila nos horizontes e camadas (doravante designados simplesmente por camadas) dos solos estudados foi de 648, 165 e 187 g kg⁻¹ respectivamente (Figura 13; Anexo 1).

A concentração da fracção areia (2 - 0,02 mm) nas camadas dos solos apresentou forte variação (115 a 968 g kg⁻¹). Observou-se que a larga maioria das camadas dos solos (89,6%) apresentou concentração de areia superior a 400 g kg⁻¹ e apenas uma percentagem pequena (8,3%) apresentou concentração entre 200 a 400 g kg⁻¹; uma diminuta percentagem de casos (2,1 %) apresentou concentração entre 100 e 200 g kg⁻¹ (Figura 14).

A concentração da fracção limo (0,02 - 0,002 mm) também apresentou grande variação (6 a 469 g kg⁻¹), mas a grande maioria das camadas dos solos (64,6%) mostrou

concentração inferior a 200 g kg⁻¹ e uma percentagem menor (35,4%) apresentou concentração de limo superior a 200 g kg⁻¹ (Figura 14).

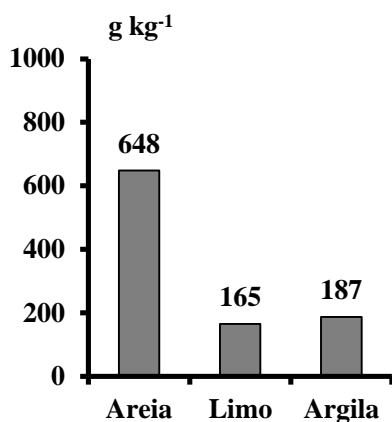


Figura 13. Concentrações médias das fracções areia, limo e argila na fracção fina do conjunto das diferentes camadas dos solos estudados.

A concentração da fracção argila (< 0,002 mm) nas camadas dos solos também mostrou variação acentuada (23 a 414 g kg⁻¹), em que uma larguíssima maioria de casos (95,9%) manifestou concentração de argila entre 100 a 400 g kg⁻¹; uma percentagem pequena (16,7%) apresentou concentração de argila inferior a 100 g kg⁻¹; e somente uma diminuta percentagem (4,1%) apresentou concentração superior a 400 g kg⁻¹ (Figura 14).

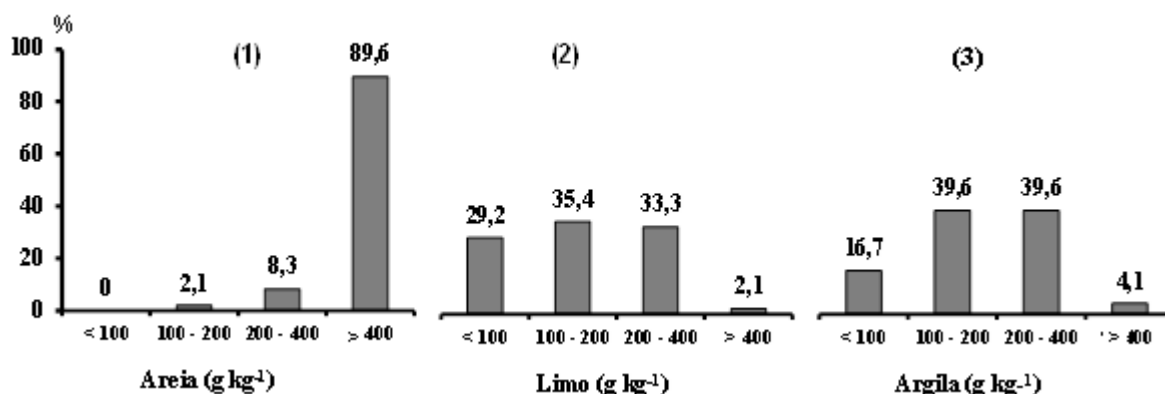


Figura 14. Frequências (%) médias das camadas com as diferentes classes de concentrações das fracções areia (1), limo (2) e argila (3).

As camadas dos solos estudados apresentaram generalizadamente textura grosseira (47,9%) e mediana (50,0%); apenas uma ínfima proporção apresentou textura fina (2,1%). A textura grosseira envolve as texturas arenosas, as areno-francas e as franco-arenosas; a textura

mediana compreende as texturas francas e franco-argilo-arenosa; finalmente, a textura fina abarca as texturas franco-argilo-limosa, franco-argilosa e argilosa.

A concentração da fracção areia nos solos dos morros limítrofes ao Vale do Cavaco (Anexos 1), também apresentou forte variação (282 a 857,4 g kg⁻¹), o mesmo acontecendo para as fracções limo (45,6 a 327,7 g kg⁻¹) e argila (45,6 a 327,7 g kg⁻¹). Assim, embora a amplitude dessas concentrações não difira grandemente daquelas observadas nos solos do Vale do Cavaco, a textura dos solos dos morros da periferia do vale é algo menos grosseira, pois a textura fina (47,1%) está mais representada do que a textura grosseira (29,4%) ou a textura mediana (23,5%).

4.2.1.2. Mineralogia da fracção argila

A fracção argilosa de alguns dos solos estudados apresentou essencialmente minerais de argila, em que se destacam a montmorilonite, os minerais micáceos e a caulinite. Os minerais da fracção argilosa identificados apresentaram concentrações variáveis entre os solos considerados (Quadro 2). Havendo casos em que predomina a montmorilonite, outros os minerais micáceos ou ainda outros a caulinite, mas também casos em que dois minerais apresentam proporções equiparadas e predominantes em relação a um terceiro ou ainda casos de proporções equilibradas entre os minerais referidos.

Quadro.2. Constituição mineralógica da fracção argilosa das diferentes camadas representativas de alguns dos solos estudados.

Perfil	Profundidade (m)	Fracção argila (g kg ⁻¹)	Composição mineralógica (%)
PS1	0 – 0,30	140,6	K2 M2 Mi3+
	0,30 – 0,60	170,8	K2+ M2 Mi3
PS7	0 – 0,20	100,6	K2+ M2 Mi3
	0,20 – 0,40	111,2	K2+ M2 Mi3
PS12	0 – 0,30	189,6	M1 Mi2 K4-
	0,30 – 0,55	29,18	M1 Mi2 K4-
PS14	0 – 0,25	272,8	K1 M2 Mi3
	0,25 – 0,55	280,6	K1 M2 Mi3
PS16	0 – 0,25	175,6	Mi1 M2 K3-
	0,25 – 0,50	12,15	M2+ Mi2 K3
PS17	0 – 0,25	207,6	Mi1 M2 K3
	0,25 – 0,50	122,9	M2 Mi2 K3
PS18	0 – 0,20	320,1	M2+ Mi2 K2
	0,20 – 0,45	400,7	K2+ M2+ Mi3

Simbologia da identificação das espécies mineralógicas e respectiva quantificação: M – Montmorilonite; Mi – Minerais micáceos; K – Caulinite; **1** - > 50%; **2** - 20-50%; **3** - 5-20%; **4** - 2-5%; **5** - < 2%. Os símbolos “+” e “-” indicam proporção próxima do limite superior ou inferior do intervalo especificado.

A variação de concentração dos minerais de argila identificados na fracção argilosa sugere que haverá uma grande variabilidade na constituição e comportamento da fracção argilosa dos solos quanto à magnitude de carga eléctrica, à capacidade de troca cationica, ao poder de retenção de água, à expansibilidade e plasticidade para diferentes teores de humidade. Deste modo, a variação da constituição mineralógica da fracção argilosa e a grande variabilidade da fracção argila serão determinantes de uma grande variabilidade de comportamento dos solos quanto à retenção e disponibilidade de nutrientes, à capacidade de retenção de água, à consistência, e à susceptibilidade à compactação, o que é grande importância para o sistema de gestão dos mesmos.

4.2.2. Características químicas

4.2.2.1. Condutividade eléctrica (na suspensão de determinação do pH)

A condutividade eléctrica (CE) na suspensão de determinação do pH (em H₂O) nas camadas dos solos (Quadro 3) variou entre 0,05 e 8,7 dS m⁻¹ (Anexo 1). Os valores de CE inferiores a 4 dS m⁻¹ corresponderam à quase totalidade dos casos das camadas superficiais (96,1%), das camadas subsuperficiais (96,2%) e das camadas mais profundas dos solos (95,4%). De facto, somente pequena proporção das camadas (3,8%), pertencentes a um único perfil, apresentou valores de CE entre 4 e 15 dS m⁻¹.

Quadro 3. Frequências (%) dos valores da condutividade eléctrica (CE) (na suspensão da determinação do pH) nas camadas dos solos estudados distribuídas por classes.

Camadas dos solos	CE (dS m ⁻¹)			
	< 2	2 - 4	4 - 8	8 - 15
Camadas superficiais	92,3	3,8	3,8	0,0
Camadas subsuperficiais	88,5	7,7	0,0	3,8
Camadas mais profundas	80,0	15,4	3,8	0,0
Todas as camadas	87,1	9,0	2,6	1,3

Por sua vez, a CE dos solos desenvolvidos sobre as formações sedimentares dos morros ou colinas adjacentes ao Vale do Cavaco também mostrou uma ampla variação (entre 1,5 a 14,02 dS m⁻¹; com uma média 7,04 dS m⁻¹), mas indicando uma amplitude de variação ainda maior do que nos solos da área do perímetro de rega (Anexo 1).

4.2.2.2. Carbonato de cálcio

A concentração do carbonato de cálcio (CaCO_3) nas camadas dos solos estudados variou entre 0,2 e 14,2 g kg^{-1} (Anexo 1). A totalidade das camadas apresentou concentração de CaCO_3 inferior a 15%, não apresentando assim camadas cálcicas (*sensu* WRB, 2006). A maior parte das camadas (53,8%) apresentou concentrações de CaCO_3 inferiores a 2 g kg^{-1} e uma proporção menor das camadas (46,1%) mostrou concentrações superiores a 2 g kg^{-1} (Quadro 4).

Quadro 4. Frequências (%) dos valores da concentração de carbonato de cálcio (CaCO_3) nas camadas dos solos estudados distribuídos por classes.

Camadas dos solos	CaCO_3 (g kg^{-1})	
	< 2	≥ 2
Camadas superficiais	46,2	53,8
Camadas subsuperficiais	53,8	45,2
Camadas mais profundas	61,5	38,5
Todas as camadas	53,8	46,2

Os valores de concentração de CaCO_3 inferiores a 2 g kg^{-1} mostraram o predomínio nas camadas mais profundas em relação as camadas superficiais e subsuperficiais, enquanto os valores superiores manifestaram o predomínio nas camadas superficiais com a diminuição das camadas com a profundidade (Quadro 4).

A concentração de CaCO_3 nos solos dos morros envoltos da área de estudo variou entre 3,8 e 255 g kg^{-1} (média 65 g kg^{-1}), indicando em geral maior concentração do que nos solos da área do perímetro de rega (Anexo 1).

A variação da concentração do CaCO_3 nas camadas dos solos estudados sugere uma grande variabilidade da sua distribuição no solo que pode ser associada à natureza das formações geológicas que se encontram nas mais variadas formas.

4.2.2.3. Carbono orgânico

A concentração do carbono orgânico (C_{org}) nas camadas dos solos apresentou valores bastante baixos (Figura 15), os quais variaram entre 0,5 e 13,12 g kg^{-1} , o que se poderá associar às condições de aridez do Vale do Cavaco, bem como à constituição e à gestão dos solos do perímetro de rega (Anexo 1). A grande maioria de casos das camadas (91,0%) mostrou concentração de C_{org} inferior a 10 g kg^{-1} e somente uma percentagem muito pequena (9%) mostrou concentrações igual ou superior a 10 g kg^{-1} .

Os valores de concentração de C_{org} mostraram uma grande variabilidade. Os teores inferiores a 5 g kg^{-1} são largamente predominantes nas camadas mais profundas; os teores de 5 e 10 g kg^{-1} predominam nas camadas superficiais e decrescem fortemente com a profundidade; os teores superiores a 10 g kg^{-1} têm uma apreciável representatividade nas camadas superficiais e mínima ou inexistente nas inferiores (Figura 15).

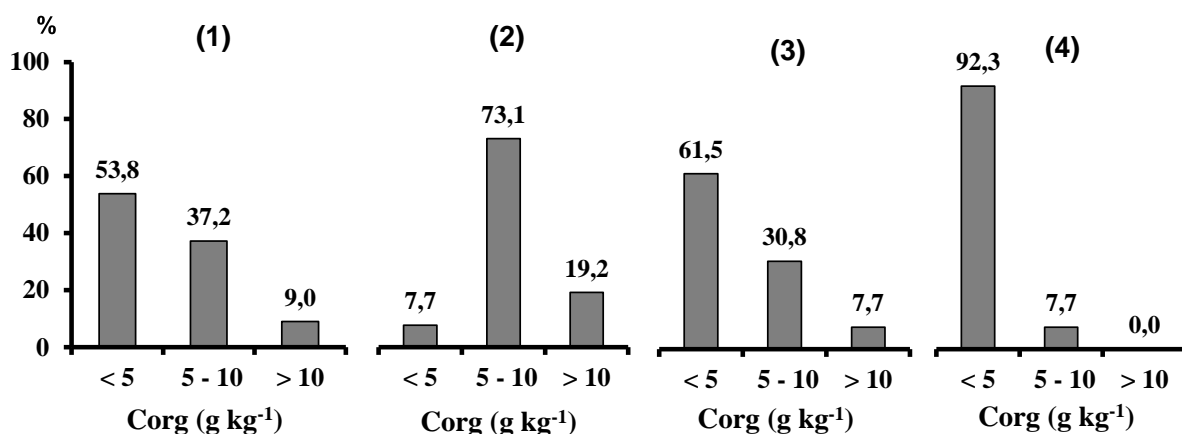


Figura 15. Proporção das classes de concentração de carbono orgânico (C_{org}) no conjunto das camadas dos solos (1) e nas camadas superficiais (2), camadas subsuperficiais (3) e camadas mais profundas (4) dos solos estudados.

A concentração de C_{org} nos solos dos morros circundantes ao perímetro de rega variou entre $0,09$ e $31,1 \text{ g kg}^{-1}$ (média de $6,9 \text{ g kg}^{-1}$), indicando baixa concentração como nos solos do perímetro de rega, com exceção das camadas do solo PA6 que apresentaram valores elevados, entre 20 g kg^{-1} e $31,1 \text{ g kg}^{-1}$ (Anexo 1).

A ampla variação da concentração do C_{org} nas diferentes camadas dos solos do perímetro de rega e nos dos morros circundantes sugere uma grande variabilidade de concentração de matéria orgânica no solo, que pode ser associada à variabilidade de textura e da fracção de argila, ao sistema de uso (sequeiro, abandono, regadio) dos solos e às práticas de gestão (mobilização, gestão de resíduos) do solo. A correlação entre a concentração do carbono orgânico e a da fracção argila nas camadas superficiais dos solos mostrou-se positiva e significativa ($r = 0,627852$; $p\text{-value} < 0,05$).

4.2.2.4. Fósforo extraível

A concentração do fósforo extraível (P_{ext}) nas camadas dos solos, aplicando o teste Olsen, apresentou uma grande amplitude e variação espacial ($1,5 - 55,3 \text{ mg kg}^{-1}$) (Anexo 1). A maior proporção da globalidade das camadas ($44,9\%$) mostrou uma concentração de P_{ext} inferior a 8 mg

kg⁻¹, sendo mínima a proporção de valores superiores a 41 mg kg⁻¹. A maior proporção das menores concentrações de P_{ext} inferiores a 13 mg kg⁻¹ observou-se maioritariamente nas camadas subsuperficiais e profundas (Quadro 5). Pelo contrário, as concentrações superiores a 13 mg kg⁻¹ (e nomeadamente a 23 mg kg⁻¹) ocorrem maioritariamente nas camadas superficiais. Os resultados também indicaram uma grande variabilidade de distribuição das diferentes classes dos teores de P extraíveis nas camadas superficiais, com predominância dos teores superiores a 13 mg kg⁻¹. A concentração de P_{ext} nos morros circundantes ao perímetro de rega variou entre valores nulos e 6,3g kg⁻¹, sugerindo valores de concentração de P_{ext} muito baixos em relação aos solos no perímetro de rega (Anexo 1).

A concentração do P_{ext} nas diferentes camadas dos solos do perímetro de rega e dos solos de morros circundantes sugere uma grande variabilidade espacial. Por um lado, esta variabilidade deverá estar fortemente associada à variabilidade da natureza dos materiais constituintes do solo, com forte incidência na variabilidade da textura, da mineralogia da fracção argila e do teor de matéria orgânica; de facto, observou-se uma correlação positiva e significativa entre o teor de P extraível e o teor de matéria orgânica (r= 0,407111; p-value < 0,05) (Anexo 1). Por outro lado, deverá estar associada ao historial dos sistemas e práticas de uso da terra praticados no Vale do Cavaco; especificamente deverá considerar o sistema de uso do solo, o nível de aplicação de fertilizantes de fósforo, a qualidade e quantidade da água de rega aplicada e as práticas de regas.

Quadro 5. Frequências (%) dos valores de concentração de fósforo extraível (P_{ext}) nas diferentes camadas distribuídas por classes e respectivos limites inferiores e superiores (entre parêntesis) dos solos estudados.

Camadas dos solos	P _{ext} (mg kg ⁻¹)				
	< 8	8 - 13	13 - 23	23 - 41	> 41
Camadas superficiais	34,5 (2,4 - 7,2)	11,5 (8,1 - 9,2)	26,9 (14,4 - 22,4)	19,2 (24,4 - 32,9)	7,7 (44,9 - 55,3)
Camadas subsuperficiais	38,5 (2,4 - 7,8)	30,8 (8,5 - 12,3)	23,1 (14,1 - 21,4)	3,8 (23,7)	3,8 (51,2)
Camadas mais profundas	61,5 (1,5 - 7,5)	19,2 (8,2 - 11,5)	11,5 (15,4 - 16,1)	7,7 (26,6 - 29)	0,0 -
Todas as camadas	44,9	20,5	20,5	10,3	3,8

4.2.2.5. Potássio extraível

As camadas dos solos, aplicando o teste de Egnér-Riehm, apresentaram uma grande amplitude de variação (2,8 e 90,8 mg kg⁻¹) de concentração de potássio extraível (K_{ext}) (Anexo 1). A maior parte das camadas (67,9%) apresentou concentração de K_{ext} inferior a 41 mg kg⁻¹ e a outra parte menor (32,1%) manifestou concentração superior a 41 mg kg⁻¹. Na

generalidade as maiores concentrações de K_{ext} foram observadas nas superficiais. As concentrações de K_{ext} inferiores 41 mg kg^{-1} , tal como se verificou para o P_{ext} , predominam nas camadas subsuperficiais e profundas (mormente as concentrações inferiores a 20 mg kg^{-1}). Inversamente, as concentrações de K_{ext} superior a 41 mg kg^{-1} eram predominantes nas camadas superficiais e apresentando muito menor representatividade nas camadas subsuperficiais e profundas (Quadro 6).

A concentração de K_{ext} nos solos dos morros envolventes ao Vale do Cavaco variou entre $12,2$ e $139,9 \text{ kg}^{-1}$, mostrando uma maior amplitude do que nas camadas dos solos do perímetro de rega. Tal facto poderá associar-se á natureza dos substratos litológicos das diversas formações sedimentares.

A variação da concentração do K_{ext} nas camadas dos solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco pode ser associada, por um lado, à natureza do material de origem no solo, e, por outro, ao sistema de uso dos solos e às práticas de gestão tais como o nível de aplicação de fertilizantes de potássio, a qualidade e quantidade da água de rega, e as práticas de rega das culturas.

Quadro 6. Frequências (%) dos valores de concentração de potássio extraível (K_{ext}), nas diferentes camadas do solo, distribuídos por classes e os limites inferiores e superiores (entre parêntesis) dos solos estudados.

Camadas dos solos	$K \text{ (mg kg}^{-1}\text{)}$			
	< 20 (< 25) ^{a)}	20 -41 (25 -50) ^{a)}	41– 83 (50 – 100) ^{a)}	83 - 166 (100 - 200) ^{a)}
Camadas superficiais	26,9 (5,7 – 17,4)	15,4 (21,6 – 37,5)	30,8 (41,5 – 75,7)	26,9 (85,4 – 89,4)
Camadas subsuperficiais	50,0 (2,8 – 19,5)	34,6 (24,1 – 37,7)	7,7 (5,5 – 60,9)	7,7 (87,1 – 90,0)
Camadas mais profundas	61,5 (2,8 – 19,1)	19,2 (21,5 – 39,2)	11,5 (43,3 – 52,7)	7,7 (85,9 -90,8)
Todas as camadas	46,2	21,8	24,4	7,7

^{a)} Os valores dos limites inferiores e superiores entre parêntesis dos K_2O equivalentes aos valores K_{ext} distribuídos por classes (LGARS, 2006) nas camadas dos solos em mg kg^{-1} .

4.2.2.6. Complexo de troca

Capacidade de troca catiónica

A capacidade de troca catiónica (CTC) das camadas dos solos variou entre $0,2$ e $18,8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Anexo 3). Na generalidade verificou-se que a maioria das camadas (51,3%) mostrou CTC entre 6 e $12 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, uma proporção de menor representatividade (34,6%) mostrou CTC inferior a $6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e uma outra proporção pequena (14,1%) mostrou CTC superior a $12 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Figura 18).

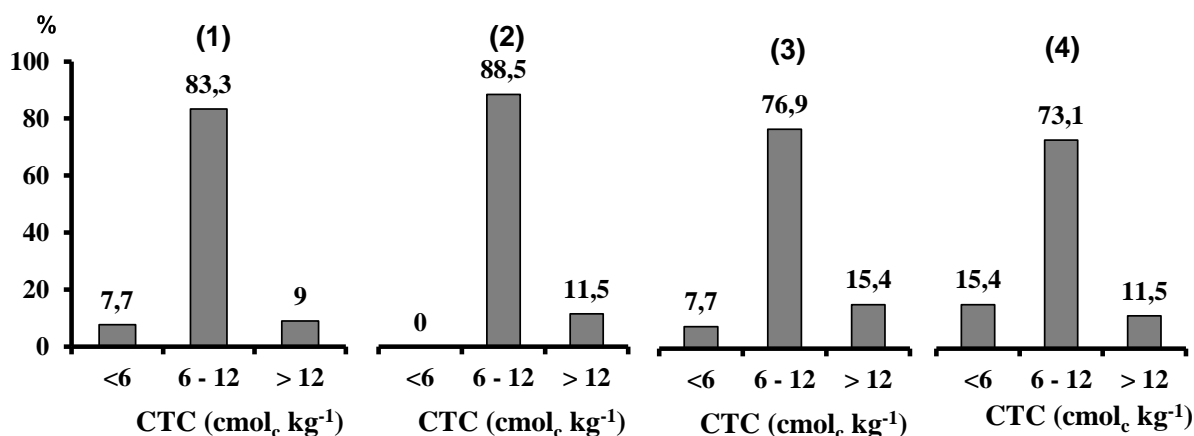


Figura 16. Frequências médias da capacidade catiónica (CTC) no conjunto dos horizontes e camadas dos solos (1) e dos horizontes superficiais (2), dos horizontes e camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados.

Os valores da CTC compreendidos entre 6 e 12 cmol_c kg⁻¹ estão fortemente representados em todas as camadas. Porém, a proporção dos valores inferiores 6 cmol_c kg⁻¹ cresce fortemente da camada superficial para a mais profunda, enquanto a proporção dos valores superiores a 12 cmol_c kg⁻¹ decresceu fortemente da camada superficial para a mais profunda (Figura 16).

A variação dos valores da capacidade de troca nas camadas dos solos estudados sugere uma grande variabilidade de comportamentos dos solos quanto à capacidade de retenção de catiões e à disponibilidade de nutrientes para as plantas, o que influenciará a fertilidade do solo e o estado de nutrição das plantas. Essa variabilidade pode ser associada nomeadamente à textura, à constituição mineralógica argila e ao teor do carbono orgânico nas camadas dos solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco. Facto disso, os valores da CTC nas camadas superficiais dos solos estudados mostraram-se positiva e significativamente correlacionados tanto com o teor da fracção argila ($r = 0,600833$; $p\text{-value} < 0,05$) como com os teores de carbono orgânico ($r = 0,612051$; $p\text{-value} < 0,05$). A mineralogia da fracção argila poderá também contribuir para a variabilidade da CTC, pois a CTC da fracção argila nas camadas dos solos determinada indirectamente (com excepção de seis valores discrepantes associados a baixa concentração da argila) variou entre 16,47 e 67,06 cmol_c kg⁻¹, observando-se que na maior parte dos casos a fracção argila (83,3%) mostrou CTC superior a 24 cmol_c kg⁻¹ e apenas uma proporção reduzida (16,7%) mostrou CTC entre 16 e 24 cmol_c kg⁻¹ (Anexo 3, Quadro 26).

Bases de troca

Cálcio

A concentração de cálcio de troca (Ca²⁺) nas camadas dos solos apresentou uma forte variação (1,23 a 18,3 cmol_c kg⁻¹; Anexo 3). A maioria das camadas (48,7%) mostrou

concentração de Ca^{2+} de troca entre 5 e 10 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, uma proporção relativamente menor (32,1%) apresentou concentração inferior a 5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e somente pequena proporção de camadas (19,2%) apresentou valores entre 10 e 20 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Quadro 7). Os valores de concentração de Ca^{2+} entre 5 e 10 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, de modo similar ao referido para a CTC, são dominantes em todas as camadas. Porém, a proporção dos valores inferiores a 5 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ aumenta da camada superficial (23,1 %) para a mais profunda (38,5%), enquanto a proporção dos valores superiores a 10 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ decresce da camada superficial (30,8%) para a mais profunda (11,5%).

A concentração do Ca^{2+} de troca nos solos das colinas envolvidas do perímetro de rega variou entre 0,65 e 46,3 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (com média 10,3 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), manifestando assim uma maior amplitude de variação em relação aos solos no perímetro de rega (Anexo 3).

Quadro 7. Frequências (%) das classes dos valores de cálcio de troca (Ca^{2+}) nas camadas dos solos estudados.

Camadas dos solos	Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)		
	< 5	5 - 10	10 – 20
Camadas superficiais	23,1	46,2	30,8
Camadas subsuperficiais	34,6	50,0	15,4
Camadas mais profundas	38,5	50,0	11,5
Todas as camadas	32,1	48,7	19,2

Os teores do Ca^{2+} de troca nas camadas sugerem uma grande variabilidade que deverá estar associada à variabilidade da CTC, dado que se observou uma correlação positiva e significativa entre a concentração deste cátion e o valor da CTC ($r = 0,8273911$; $p\text{-value} < 0,05$). Por isso, a variabilidade da concentração de Ca^{2+} deverá também estar associada à variabilidade do teor da fração argila (textura) e de matéria orgânica, dado que apresenta correlação positiva e significativa tanto com o primeiro ($r = 0,821699$; $p\text{-value} < 0,05$) como com o segundo ($r = 0,4806939$; $p\text{-value} < 0,05$). Não se deverá excluir a possível influência associada aos sistemas de uso e práticas de gestão do solo, à quantidade e à qualidade da água rega, às práticas de rega utilizadas.

Magnésio

A concentração do magnésio de troca (Mg^{2+}) nas camadas dos solos variou entre 0,20 e 4,33 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Anexo 3). A maioria das camadas (44,9%) mostrou concentração de Mg^{2+} entre 1,5 e 3 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, uma proporção relativamente menor (44,2%) apresentou

concentração abaixo de $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e somente uma pequena proporção (12,8%) mostrou concentração entre 3 e $8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Quadro 8). A concentração entre 1,5 e $3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ocorreu em muito maior proporção (Quadro 7) nas camadas superficiais (61,5%) do que nas restantes (30,8-42,3%). Inversamente, a proporção das concentrações inferiores a $1,5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e compreendidas entre 3 e $8 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ foi muito menor nas camadas superficiais do que nas mais profundas, apresentando assim um padrão de variação bastante diferenciado do correspondente ao Ca^{2+} de troca.

Quadro 8. Frequências (%) das classes de concentração de magnésio (Mg^{2+}) de troca nas camadas dos solos.

Camadas dos solos	$\text{Mg}^{2+} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1})$			
	< 1,5	1,5 – 3,0	3,0 – 8,0	> 8
Camadas superficiais	30,8	61,5	7,7	0,0
Camadas subsuperficiais	50,0	30,8	19,2	0,0
Camadas mais profundas	46,2	42,3	11,5	0,0
Todas as camadas	42,3	44,9	12,8	0,0

A concentração de Mg^{2+} de troca nos solos de colinas circundantes ao Vale do Cavaco variou entre 0,25 e $6,51 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, manifestando uma amplitude de variação ainda maior do que a observada nos solos do perímetro de rega (Anexo 3).

A amplitude dos teores de Mg^{2+} de troca nas camadas dos solos do perímetro de rega (e dos solos das colinas limítrofes ao Vale do Cavaco) sugere uma grande variabilidade de distribuição espacial que poderá ser associada à variabilidade da textura, ao tipo de minerais de argila (montmorilonite, micáceos e caulinite) ou, seja, à capacidade de troca catiónica, com a qual se correlaciona positiva e significativamente ($r = 0,673480$; $p\text{-value} < 0,05$); assim, também se correlaciona positiva e significativamente com o teor da fracção argila ($r = 0,793429968$; $p\text{-value} < 0,05$) e com o teor da matéria orgânica ($r = 0,3906226$; $p\text{-value} < 0,05$). Além disso, deverá ser considerada a influência dos sistemas de uso e das práticas de gestão do solo, nomeadamente no que toca à quantidade e à qualidade da água rega e às práticas de rega utilizadas no perímetro de rega.

Potássio

A concentração do potássio de troca (K^+) nas camadas dos solos variou entre 0,07 e $3,13 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Anexo 3). A maioria das camadas (53,8%) mostrou valores entre 0,30 e 1,2

cmol_c kg⁻¹, uma proporção menor (34,6%) mostrou valores inferiores a 0,30 cmol_c kg⁻¹ e uma proporção bastante pequena (11,5%) valores superiores a 1,2 cmol_c kg⁻¹ (Quadro 9).

A concentração de K⁺ de troca mostrou um padrão de distribuição semelhante ao observado para a concentração de K extraível (Quadros 5). A proporção dos valores de concentração de K⁺ de troca entre 0,3 e 1,2 cmol_c kg⁻¹ decresceu sucessivamente da camada superficial (69,2%) para a mais profunda (34,6%), ao passo que a proporção dos valores inferiores a 0,3 cmol_c kg⁻¹ apresentou um padrão inverso ao anterior. Por seu turno, a proporção da concentração de K⁺ de troca superior a 1,2 cmol_c kg⁻¹ foi muito reduzida em qualquer das camadas e com um padrão menos definido com a profundidade.

A concentração de K⁺ de troca nos solos circundantes ao Vale do Cavaco variou entre 0,09 e 2,23 cmol_c kg⁻¹ (média 0,64 cmol_c kg⁻¹), mostrando alguma proximidade com a amplitude dos valores de K⁺ observada nos solos do perímetro de rega (Anexo 3).

A variabilidade da concentração de K⁺ de troca, ao contrário do observado para o Ca²⁺ e o Mg²⁺, não se poderá atribuir a variações do valor da CTC e do teor de matéria orgânica e de argila, dado que não foram observadas correlações significativas entre o K⁺ de troca e esses parâmetros. A grande variabilidade de K⁺ de troca nas camadas dos solos estudados poderá associar-se fundamentalmente ao sistema de uso e de práticas de gestão do solo, incluindo a aplicação de fertilizantes de potássio, a qualidade e quantidade da água de rega aplicada desde a intensificação do uso das terras do Vale em meados de século passado. Finalmente, sublinha-se que os valores de concentração de K⁺ de troca mostraram uma correlação positiva e significativa ($r = 0,442144$; $p\text{-value} < 0,05$) com os valores de K extraível.

Quadro 9. Frequências (%) das classes dos valores de concentração de potássio (K⁺) nas camadas dos solos estudados.

Camadas dos solos	K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)		
	< 0,3	0,3 – 1,2	> 1,2
Camadas superficiais	15,4	69,2	15,4
Camadas subsuperficiais	34,6	57,7	7,7
Camadas mais profundas	53,8	34,6	11,5
Todas as camadas	34,6	53,8	11,5

Sódio

A concentração do sódio de troca (Na⁺) nas camadas dos solos estudados variou entre 0,4 e 4,1 cmol_c kg⁻¹ (Anexo 3). Observou-se que mais de metade das camadas (62,8%) apresentou valores entre 0,7 e 2 cmol_c kg⁻¹, uma proporção relativamente menor (21,8%)

indicou valores superiores a $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e somente uma proporção pequena (15,4%) mostrou valores entre 0,3 e $0,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Quadro 10).

As concentrações do Na^+ de troca compreendidas entre 0,7 e $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ eram predominantes em qualquer das camadas consideradas (Quadro 10), mas apresentavam muito maior proporção na camada superficial (84,6%) do que nas outras (65,4% e 38,5%). Pelo contrário, as concentrações do Na^+ superiores a $2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ estavam menos representadas na camada superficial (11,5%) do que nas outras (19,2-34,6%); tendência semelhante foi observada para as concentrações de Na^+ inferiores a $0,7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (3,8 e 15,4-26,9%, respectivamente).

Quadro 10. Frequências (%) das classes dos valores de concentração do Na^+ de troca nas camadas dos solos estudados.

Camadas dos solos	$\text{Na}^+ (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1})$			
	< 0,3	0,3 – 0,7	0,7 – 2,0	> 2,0
Camadas superficiais	-	3,8	84,6	11,5
Camadas subsuperficiais	-	15,4	65,4	19,2
Camadas mais profundas	-	26,9	38,5	34,6
Todas as camadas	-	15,4	62,8	21,8

A concentração do Na^+ de troca nas camadas solos dos morros envoltentes do Vale do Cavaco variou entre 0,31 e $11,06 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (média $3,6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) (Anexo 3), mostrando uma maior amplitude do que nos solos do perímetro de rega.

A concentração do Na^+ de troca nas camadas dos solos do perímetro de rega não apresentou correlação com a capacidade de troca catiónica e o teor matéria orgânica, mas apenas com o teor de argila ($r = 0,5510081$; $p\text{-value} < 0,05$). Assim, tal variação deverá ser fortemente dependente (com á frente se tratará) das condições associadas á salinização e à sodização dos solos em consonância com os sistemas de uso e práticas de gestão do solo, à aplicação de fertilizante, à qualidade e quantidade da água de rega aplicada, à qualidade e quantidade da água de rega aplicada e às práticas de rega utilizada nas culturas.

Proporção das bases de troca

As bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) das camadas dos solos estudados no conjunto mostraram variações diferenciadas da sua proporção (Anexo 4). O Ca^{2+} apresentou uma fortíssima amplitude de variação (35,3 a 88,5%), representando uma proporção média de 64,9% na soma das bases de troca no conjunto das camadas dos solos estudados; seguiu-se

por ordem decrescente o Mg^{2+} (15,8%) - que apresentou uma forte amplitude de variação (6,2 a 28,3%) -, o Na^+ que apresentou uma fortíssima variação (2,9 a 32,4%) e uma proporção média de 14,1 %, finalmente o K^+ que apresentou também uma fortíssima variação da sua proporção na soma das bases de troca (0,7 a 29,3%), mas representando em média apenas 5,3% dessa soma (Quadro 11 e Figura 17).

Quadro 11. Limites inferiores e superiores e médias das proporções das bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) nas camadas dos solos estudados.

Camadas dos solos	Mínimo (%)	Media (%)	Máximo (%)
Ca^{2+}			
Camadas superficiais	52,3	66,2	87,0
Camadas subsuperficiais	61,4	66,	88,5
Camadas mais profundas	35,3	62,8	85,5
Todas as camadas	35,3	64,9	88,5
Mg^{2+}			
Camadas superficiais	6,2	15,9	32,7
Camadas subsuperficiais	7,0	16,0	25,2
Camadas mais profundas	7,1	15,5	28,3
Todas as camadas	6,2	15,8	28,3
Na^+			
Camadas superficiais	2,9	11,9	26,8
Camadas subsuperficiais	2,3	13,5	31,4
Camadas mais profundas	3,5	16,9	32,4
Todas as camadas	2,9	14,1	32,4
K^+			
Camadas superficiais	0,86	6,0	13,5
Camadas subsuperficiais	0,85	4,8	27,8
Camadas mais profundas	0,73	5,0	29,3
Todas as camadas	0,7	5,3	29,3

As proporções do Ca^{2+} de troca mostraram serem predominantes (acima de 50,0% em relação às outras proporções de Mg^{2+} , Na^+ e K^+) em 92,3% das camadas dos solos estudados.

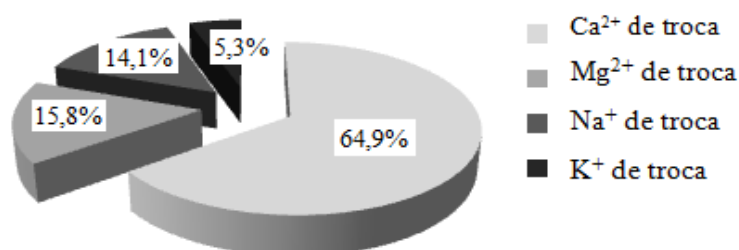


Figura 17. Proporções das diferentes bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) na soma das bases de troca das diferentes camadas dos solos estudados.

Verificou-se que as proporções do Ca^{2+} de troca entre 50 e 75% mostraram-se predominantes nas diferentes camadas, manifestando uma diminuição das camadas superficiais (88,5%) para as camadas mais profundas (73,1%), enquanto as proporções do Ca^{2+} inferiores a 50% em representatividades bastantes reduzidas mostram um aumento das camadas subsuperficiais (7,7%) para as camadas mais profundas (15,4%), ao passo que as proporções de Ca^{2+} superiores a 75% em pequenas representatividades mostram um aumento das camadas superficiais (11,5%) para as camadas subsuperficiais (15,4%) e diminuição nas camadas mais profundas (11,5%) (Figura 20).

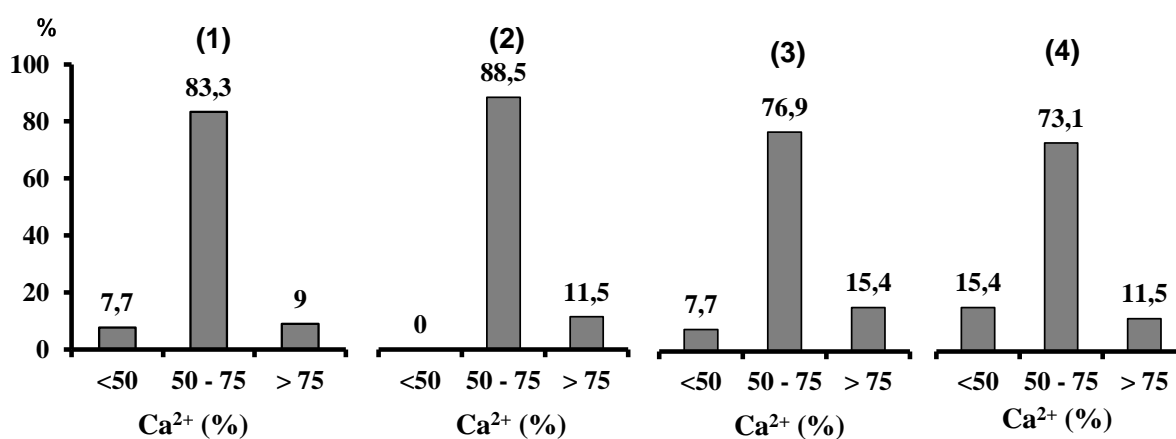


Figura 18. Diferentes classes da proporção de Ca^{2+} de troca na soma de bases de troca no conjunto dos horizontes e camadas dos solos (1) e dos horizontes superficiais (2), dos horizontes e camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados.

A proporção do Mg^{2+} na soma das bases (6,2 – 28,3%) foi muito menor do que a observada para o Ca^{2+} (35,3 – 88,5%) nas camadas dos solos estudados (Quadro 11). Constatou-se que em 69,2 a 73,1% das camadas as proporções do Mg^{2+} na soma das bases de troca concentraram-se na classe de 10 a 20%. As proporções inferiores a 10% e as superiores a 20% mostraram-se sem ou mínima diferenciação entre as diferentes camadas (11,5% - 19,2% dos casos) (Figura 19).

As proporções do Na^{2+} de troca na soma das bases (2,9 – 32,4%) mostraram uma amplitude ainda maior do que no caso do Mg^{2+} de troca (6,2 – 28,3%) e muito abaixo das proporções de Ca^{2+} de troca (35,3 – 88,5%) nas camadas dos solos estudados. Observou-se que a classe da proporção do Na^{+} inferior a 15% era largamente predominante, atingindo 65,4% nas camadas superficiais e decrescendo para 61,5 e 53,9% nas camadas seguintes; por sua vez, a classe entre 15 e 30% apresentou bastante representatividade e aumentou das camadas superficiais (34,62% dos casos) para as camadas mais profundas (46,1% dos casos)

(Figura 20). A classe das proporções de Na^+ de troca superior a 30% não mostrou representatividade em todas camadas (Figura 20).

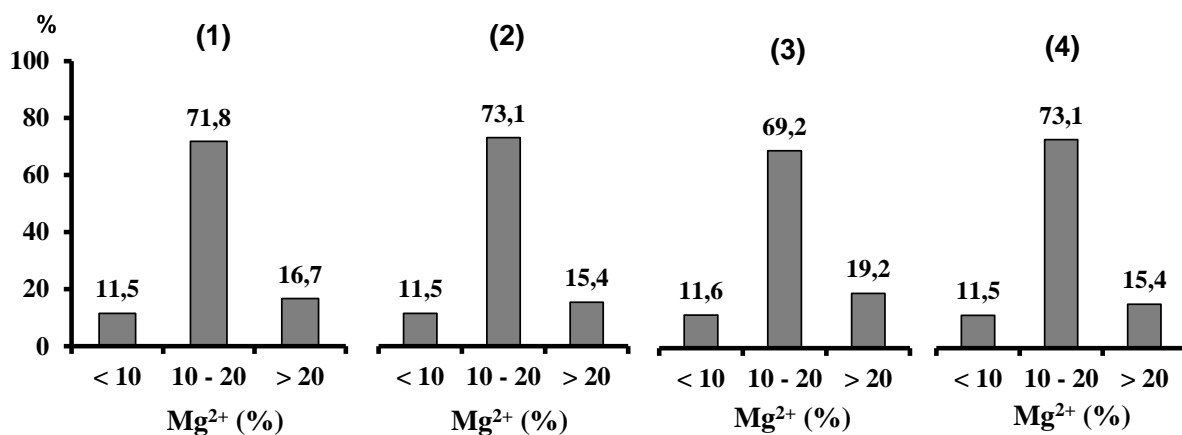


Figura 19. Diferentes classes da proporção de Mg^{2+} de troca na soma de bases de troca no conjunto das camadas dos solos (1) e das camadas superficiais (2), das camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados.

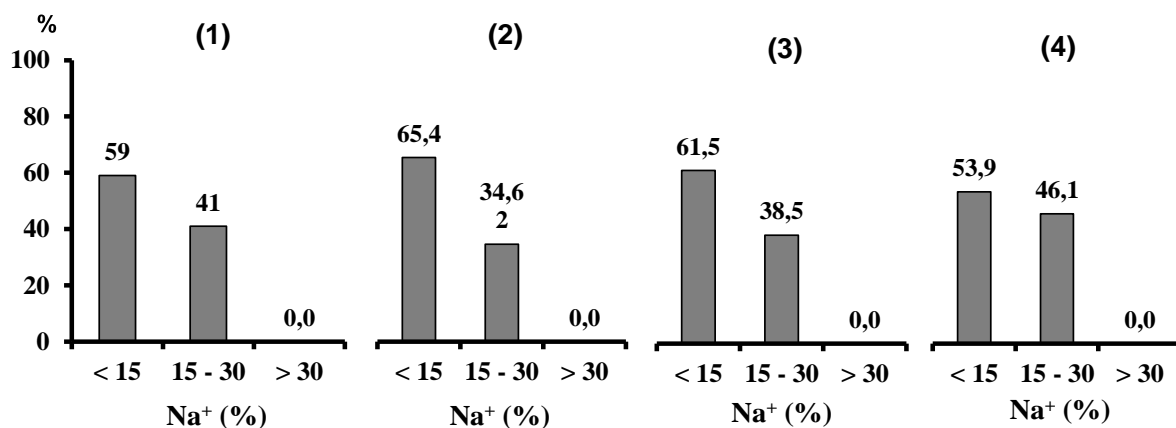


Figura 20. Proporções das diferentes classes do Na^+ de troca na soma das bases de troca no conjunto dos horizontes e camadas dos solos (1) e dos horizontes superficiais (2), dos horizontes e camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados.

As proporções do K^+ de troca mostraram-se muito reduzidas na soma das bases (5,3%) em relação às proporções de Ca^{2+} (64,9%), Mg^{2+} (15,8%) e Na^+ (14,1%) de troca, mas com uma amplitude de variabilidade (0,7 – 29,3%) muito próximas às proporções de Mg^{2+} (6,2 – 28,3%) e de Na^+ de troca (2,9 – 32,4%) e muito abaixo da amplitude das proporções do Ca^{2+} de troca (35,3 – 88,5%) nas camadas dos solos estudados. As proporções do K^+ inferior a 15% no extracto das diferentes camadas mostraram-se largamente predominantes ou exclusivas, diminuindo das camadas superficiais (100,0%) para as subsuperficiais (96,2%) as profundas (92,3%); ao contrário do observado para o Na^+ , as proporções do K^+ de troca entre 15 e 30%

mostraram-se muito reduzidas nas camadas profundas (7,7%) e subsuperficiais (3,8%) e sem representatividade nas superficiais (0,0%) (Figura 21).

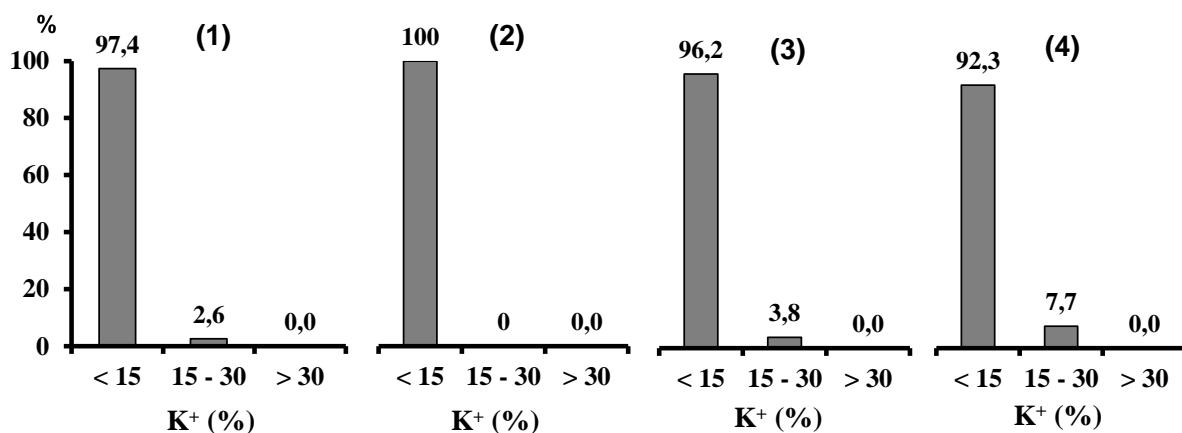


Figura 21. Proporções das diferentes classes de K^+ de troca na soma das bases de troca no conjunto das camadas dos solos (1) e das camadas superficiais (2), das camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados.

As proporções das diferentes bases de troca na respectiva soma indicam uma proporção muito maior de Ca^{2+} (64,9 %) do que de Mg^{2+} (15,8%); esta por sua vez é quase da mesma ordem que a de Na^+ (14,1%); a proporção do K^+ (5,3%) foi a que atingiu os menores valores. A proporção do catião Na^+ mostrou-se assim bastante maior do que aquela que geralmente ocorre na generalidade dos solos em condições normais.

Grau de saturação em bases

O grau de saturação em bases (GSB) nas diferentes camadas dos solos variou entre 88,09 e 100,0% (Anexo 3). Constatou-se que somente 34,6% das camadas dos solos mostrou GSB inferior a 100%. Os valores do GSB nos solos das colinas circundantes do perímetro de rega do Vale do Cavaco mostraram uma variação entre 86,70 e 100% (com média de 98,6 %) mostrando uma amplitude de variação muito maior em relação aos solos do perímetro de rega analisados.

Percentagem de sódio de troca

A percentagem de sódio de troca (PST) (com excepção de dois valores discrepantes, excepcionalmente elevados) nas camadas dos solos estudados variou entre 3,02 e 66,3% (Anexo 3). A maioria das camadas (52,6%) mostrou PST superior a 15%, uma proporção

relativamente inferior (43,4%) apresentou PST entre 6 e 15% e apenas uma proporção muito reduzida (3,9%) apresentou PST inferior a 6% (Figura 22).

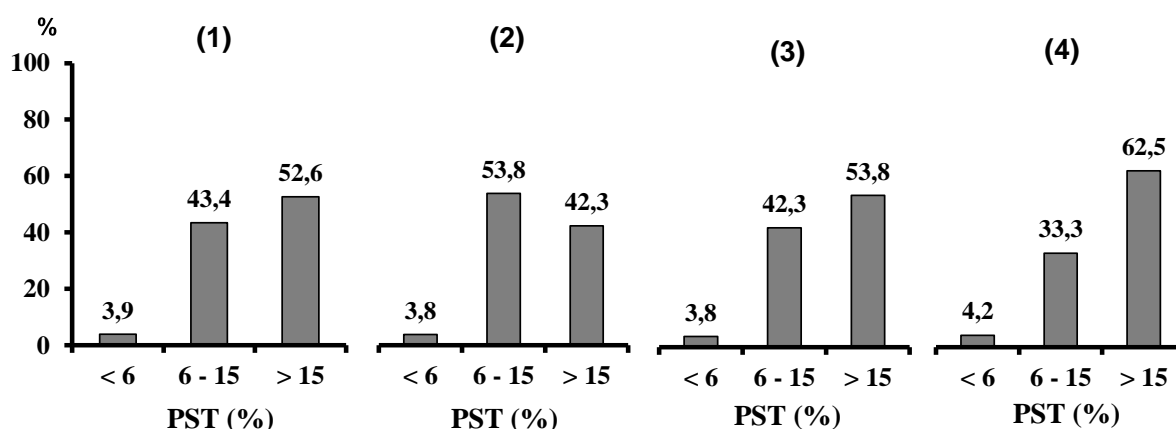


Figura 22. Frequências (%) médias da percentagem de sódio de troca (PST) no conjunto dos horizontes e camadas dos solos (1) e dos horizontes superficiais (2), horizontes e camadas subsuperficiais (3) e das camadas mais profundas (4) dos solos estudados distribuídos por classes de valores da PST.

Assim, a maior proporção das camadas (52,6%) mostrou serem predominantes os valores de PST superiores a 15%, mas observou-se uma proporção maior nas camadas mais profundas (65,5%) do que nas camadas subsuperficiais (53,8%) e superficiais (42,3%) (Figura 24). Uma proporção menor (43,4%) mostrou valores de PST entre 6 e 15%, verificando-se uma diminuição dos mesmos das camadas superficiais (53,8%) para as camadas mais profundas (33,3%) (Figura 22). Finalmente, uma proporção muito reduzida de diferentes camadas (3,9%) mostrou valores PST inferiores a 6%, manifestando uma representatividade muito reduzida em qualquer das camadas consideradas (3,8-4,2%) (Figura 22).

Os valores de PST igual e superior a 15% foram observados em solos das colinas circundantes do perímetro de rega e nas diferentes camadas dos perfis amostrados nas áreas periféricas abandonadas e não cultivadas, nas áreas cultivadas próxima da linha da costa e representatividade bastante reduzidas nas áreas cultivadas central do perímetro de rega e de montante do Vale (Figura 23). Os valores PST entre 6 e 15% nas diferentes camadas dos solos mostram-se predominantes na área cultivada central do perímetro de rega em que alguns perfis observados apresentam-se juntos com outras camadas com valores de PST superiores. Esses valores de PST mostram uma representatividade reduzida e apresentam-se também com outras camadas com valores de PST superiores a 15% (Figura 23). Além disso, esses valores de PST e inferiores a 6% foram também observados em solos das colinas circundantes do perímetro de rega. Salienta-se ainda que no perímetro de rega apenas um perfil dos solos abandonados e não cultivados apresenta valores de PST inferior a 6% (Figura 23).

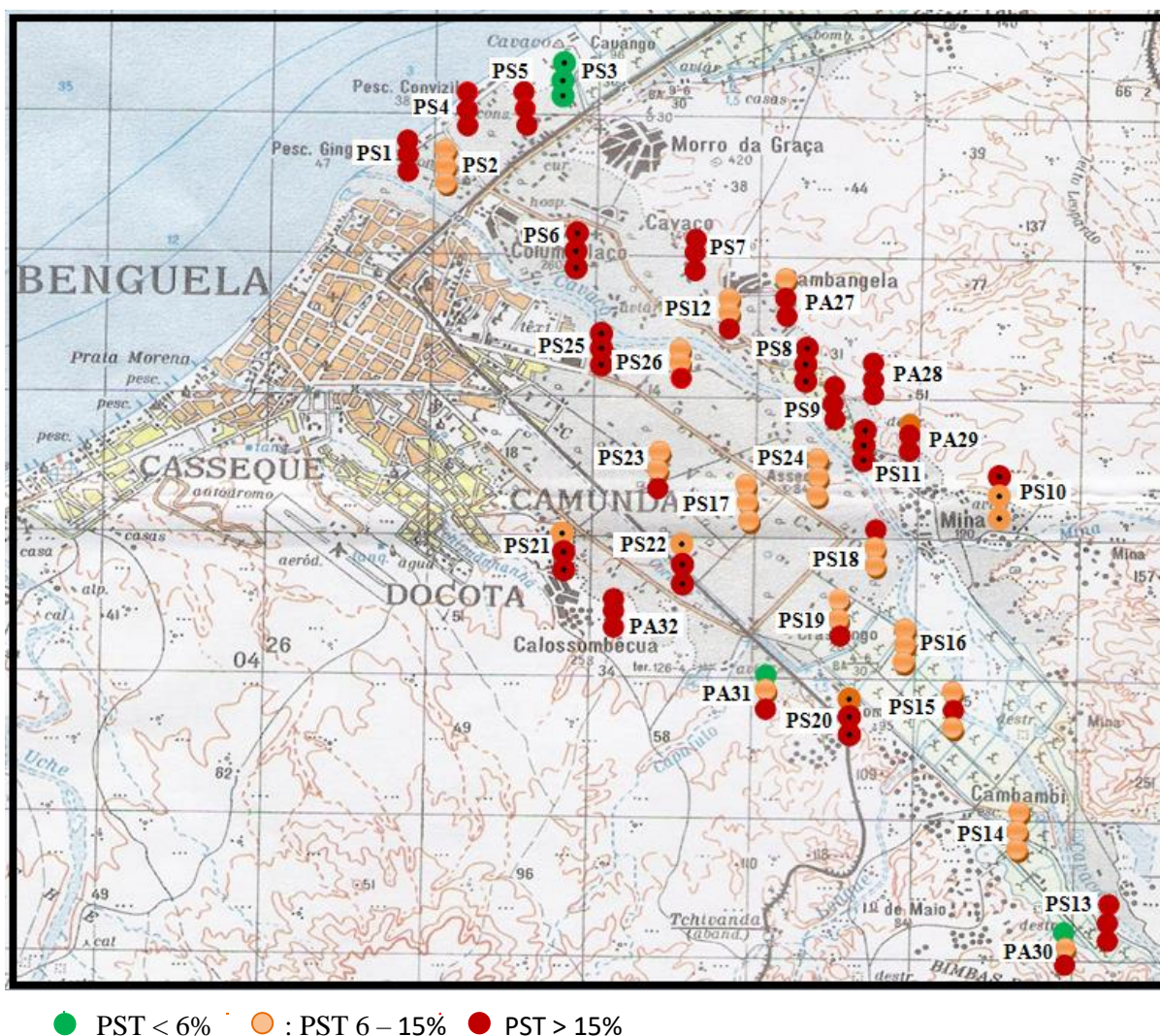


Figura 23. Classes de percentagem de sódio de troca (PST) nos solos estudados. Os símbolos com ponto negro referem-se a áreas abandonadas. PS – Solos no perímetro de rega do Vale do Cavaco; PA – Solos nas colinas periféricas ao perímetro de rega do Vale do Cavaco. A sequência das classes de PST em cada perfil são verticalmente da camada superficial para a mais profunda.

4.2.2.7. Reacção do solo

As camadas dos solos estudados manifestaram reacção subalcalina a alcalina dado que os valores de pH (em H₂O) variaram entre 7,5 e 9,4 (Anexo 3). Nesta variação de valores verificou-se que a maior proporção das camadas dos solos (53,8%) apresentou valores de pH superior a 8,5 e uma proporção menor (46,2%) apresentou valores de pH igual ou inferior a 8,5 (Figura 24). Os valores de pH superiores a 8,5 mostraram serem predominantes nas camadas subsuperficiais (61,5%) enquanto nas camadas mais profundas (53,8%) e superficiais (46,2%) mostraram menor representatividade, ao passo que os valores de pH inferiores a 8,5 manifestaram uma menor representatividade nas camadas superficiais (53,8%) em relação as camadas mais profundas (46,2%) e as camadas subsuperficiais (38,5%) (Figura 24).

Os valores do pH de solos dos morros das colinas limítrofes à área de estudo variam entre 7,96 e 9,41 e, portanto, enquadram-se na gama de valores observados nas diferentes camadas dos solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco (7,5 e 9,4) (Anexo 3).

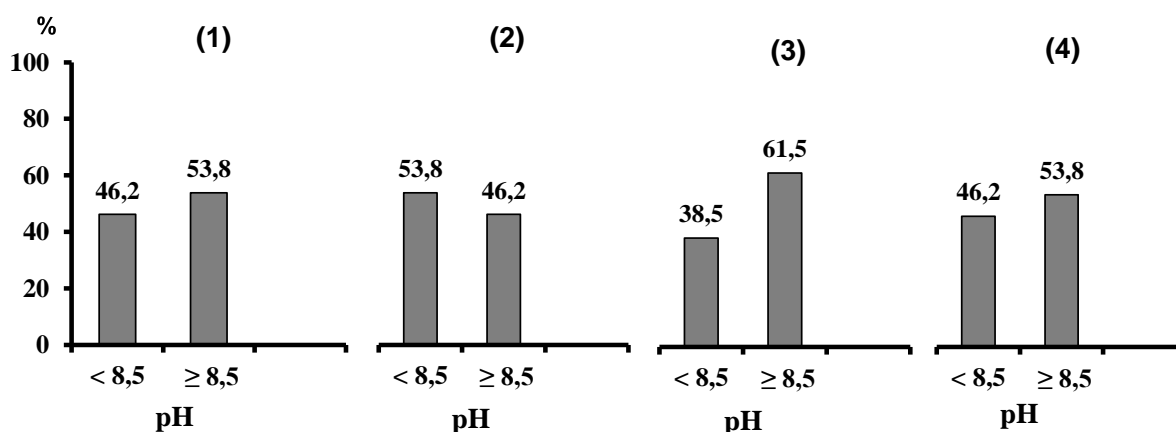


Figura 24. Frequências (%) médias dos valores de pH considerados no conjunto das camadas dos solos (1) e nas camadas superficiais (2), nas camadas subsuperficiais e (3) nas camadas mais profundas (4) dos solos estudados.

Os valores do pH das camadas dos solos estudados sugerem pouca variabilidade, o que está em concordância com a pequeníssima variabilidade do grau de saturação em bases nas diferentes camadas dos solos estudados (88,9% - 100,0%).

4.2.2.8. Características do extracto de saturação

pH

O pH no extracto de saturação das camadas dos solos estudados variou entre 7,3 e 8,4 (Anexo 5). Deste modo, os valores do pH no extracto de saturação nas diferentes camadas sugerem fraca variabilidade que podem ser associados à elevada concentração dos catiões e aniões na solução dos solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco de natureza alcalina. Ao invés do observado para o solo. Os valores do pH no extracto de saturação das camadas dos solos correlacionaram-se positiva e significativamente ($r = 0,330054$; $p\text{-value} < 0,05$) com os valores do pH na suspensão do solo/ água).

Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica (CE) no extracto de saturação das camadas dos solos estudados variou entre valores inferiores a 2 e máximo de 52,03 dS m⁻¹ (Anexo 5). Para uma

análise mais pormenorizada, os valores de CE determinados foram distribuídos em cinco classes: inferiores a 2 dS m⁻¹ (48,7%), entre 2 e 4 dS m⁻¹ (19,2%), entre 4 e 8 dS m⁻¹ (25,6%), entre 8 e 15 dS m⁻¹ (2,6%) e superiores a 15 dS m⁻¹ (3,8%) (Quadro 11). As proporções dos valores da CE (Quadro 12) inferiores a 4 dS m⁻¹ (61,6% - 69,2% - 73,1%, respectivamente) nas camadas dos solos mostraram-se de maior representatividade do que das diferentes camadas com CE superiores a 4 dS m⁻¹ (38,4% - 30,7% - 26,8% respectivamente). Entretanto, a proporção dos valores da CE entre 4 e 8 foi mais elevada nas camadas superficiais (30,8%) do que nas camadas subsuperficiais (26,9%) e nas profundas (19,2%); a proporção dos valores de CE superiores a 8 dS m⁻¹ foi muito reduzida nas camadas mais profundas (3,8 a 7,6%).

A proporção dos valores de CE inferiores a 2 dS m⁻¹ foi mais elevada nas camadas mais profundas (57,7%) do que nas camadas subsuperficiais (50,7%) e superficiais (38,5%).

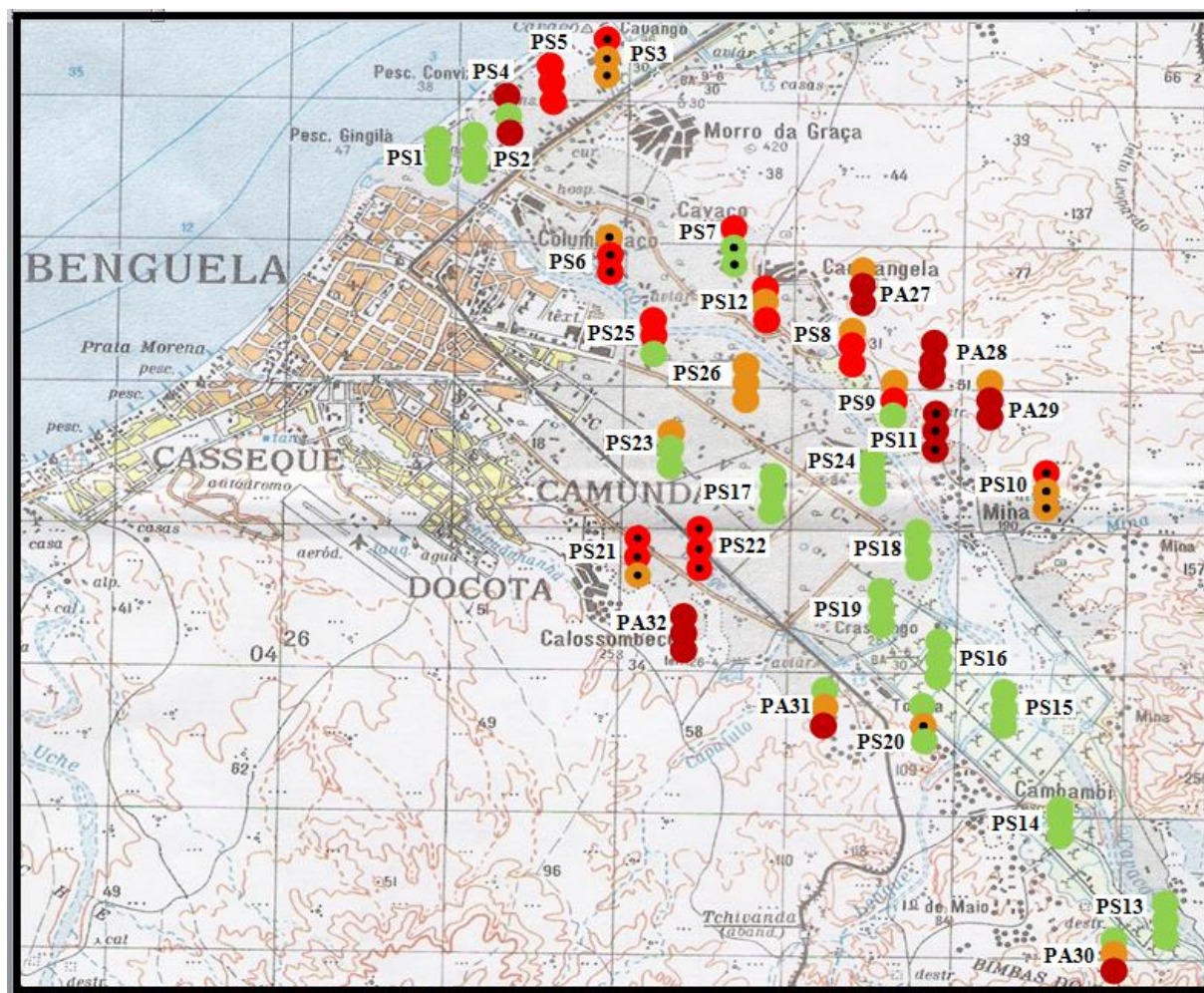
Quadro 12. Frequências (%) das classes dos valores da condutividade eléctrica (CE) nas camadas dos solos que apresentaram sais durante a pesquisa e no extracto de saturação dos horizontes e camadas dos solos estudados.

Camadas dos solos	CE (dS m ⁻¹)				
	< 2	2 - 4	4 - 8	8 - 15	> 15
Camadas superficiais	38,5	23,1	30,8	3,8	3,8
Camadas subsuperficiais	50,7	19,2	26,9	-	3,8
Camadas mais profundas	57,7	15,4	19,2	3,8	3,8
Todas as camadas	48,7	19,2	25,6	2,6	3,8

Os valores de CE superiores a 15 dS m⁻¹ foram observados em colinas circundantes do perímetro de rega e nas diferentes camadas de um perfil de solos abandonados e não cultivados (PS11) localizado na área central do perímetro de rega, o que difere dos valores de CE entre 4 e 15 dS m⁻¹ observados tanto em colinas como nas áreas periféricas, central do perímetro de rega e mais próxima da linha da costa onde as incidências foram maiores nas áreas abandonadas e não cultivadas do que nas áreas cultivadas (Figura 25).

Os valores de CE entre 2 e 4 dS m⁻¹ foram observados também nas camadas superficial, subsuperficial e mais profunda dos solos cultivados num perfil (PS25) localizado entre a área central do perímetro de rega e a área mais próxima da linha da costa, enquanto nos demais perfis observados nas áreas periféricas, central do perímetro de rega e mais próxima da linha da costa apresentam-se nas camadas dos solos junto de outras camadas com valores de CE inferiores ou superiores menores a 15 dS m⁻¹ (Figura 25). Igual situação de diferentes classes de valores de CE foi também observada nos solos em colinas circundantes

do perímetro de rega. A área de montante do Vale mostra uma larguíssima representatividade de camadas dos solos com valores inferiores a 2 dS m^{-1} em relação as demais áreas do perímetro de rega (Figura 25).



● $CE < 2 \text{ dS m}^{-1}$ ● $CE: 2 - 4 \text{ dS m}^{-1}$ ● $CE: 4 - 15 \text{ dS m}^{-1}$ ● $CE > 15 \text{ dS m}^{-1}$

Figura 25. Classes de condutividade eléctrica (CE) no extracto de saturação dos solos estudados. PS – Solos localizados no perímetro do Vale do Cavaco. Os símbolos com ponto negro referem-se a áreas abandonadas. PA – Solos localizados nos morros circundantes do perímetro de rega do Vale do Cavaco. A sequência vertical das classes de CE em cada perfil: da camada superficial para a mais profunda.

Os valores da CE das diferentes camadas dos solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco sugerem uma grande variabilidade das condições de salinidade nos solos estudados. Os valores da CE no extracto de saturação das camadas dos solos (que apresentaram sais solúveis) comparados com os valores da CE determinada também na suspensão solo/H₂O mostraram uma correlação positiva e significativa ($r = 0,772741$; $p\text{-value} < 0,05$).

Catiões

Cálcio

A concentração de cálcio (Ca^{2+}) no extracto de saturação das camadas dos solos estudados (os que apresentaram sais solúveis) variou entre 1,14 e 50,7 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (média de 20,8 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) (Anexo 5). Verificou-se que a maioria das camadas dos solos (52,1%) mostrou concentração Ca^{2+} inferior a 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, uma proporção relativamente menor (37,5%) mostrou variação de concentração de Ca^{2+} entre 20 e 40 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ e apenas uma proporção pequena (10,4%) mostrou variação de concentração de Ca^{2+} superior a 40 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ sem representatividade nas camadas subsuperficiais (Quadro 13).

A concentração de Ca^{2+} inferior a 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ no extracto de saturação das diferentes camadas aumentou sucessivamente das camadas superficiais (47,4%) para as profundas (60,0%) (Quadro 13), ao passo que a concentração de Ca^{2+} entre 20 e 40 mmol_c mostrou-se mais elevada nas camadas subsuperficiais (50,0%) do que nas profundas (33,3%) e superficiais (31,6%) (Quadro 12). Finalmente, a concentração de Ca^{2+} superior a 40 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ foi mais representativa nas camadas superficiais (21,1%) do que nas outras (0-6,7%).

Quadro 13. Frequências (%) das classes dos valores de cálcio (Ca^{2+}) no extracto das camadas dos solos estudados (que apresentaram sais solúveis durante a pesquisa).

Camadas dos solos	Ca^{2+} ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)		
	< 20	20 - 40	> 40
Camadas superficiais	47,4	31,6	21,1
Camadas subsuperficiais	50,0	50,0	-
Camadas mais profundas	60,0	33,3	6,7
Todas as camadas	52,1	37,5	10,4

A concentração de Ca^{2+} no extracto de saturação das camadas dos solos nos morros envolventes ao Vale do Cavaco variou entre 1,47 e 148,3 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (média 35,6 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), indicando uma amplitude de variação ainda maior de que nos solos do perímetro de rega (Anexo 5).

Magnésio

A concentração de magnésio (Mg^{2+}) no extracto de saturação das camadas dos solos (os que apresentaram sais solúveis) variou entre 0,46 e 43,4 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (média 7,9 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) (Anexo 5). A maioria das camadas dos solos (74,5%) mostrou concentração inferior a 10

mmol_c L⁻¹ e uma proporção pequena (15,7%) mostrou concentração entre 10 e 20 mmol_c L⁻¹; as concentrações superiores a 20 mmol_c L⁻¹ apenas corresponderam a 7,8% dos casos. A proporção da concentração de Mg²⁺ inferior a 10 mmol_c L⁻¹ no extracto de saturação foi largamente dominante e semelhante entre as camadas superficiais (73,7%), subsuperficiais (73,3%) e mais profundas (81,3%). A proporção da concentração de Mg²⁺ entre 10 e 20 mmol_c L⁻¹ decresceu sucessivamente das camadas superficiais (21,1%) para as subsuperficiais (20,0%) e para as profundas (6,3%). Pelo contrário, a proporção da concentração de Mg²⁺ superior a 20 mmol_c L⁻¹ cresceu das camadas superficiais (5,3%) para as camadas subsuperficiais (6,7%) e para as profundas (12,6%) (Quadro 14).

A concentração de Mg²⁺ no extracto de saturação das camadas dos solos nos morros envolventes ao Vale do Cavaco variou entre 0,51 e 247,7 mmol_c L⁻¹ (média 43,0 mmol_c L⁻¹), apresentando maior amplitude de variação do que nos solos do perímetro de rega (Anexo 5).

Quadro 14. Frequências (%) das classes dos valores magnésio (Mg²⁺) no extracto das camadas dos solos estudados (que apresentaram sais solúveis durante a pesquisa).

Camadas dos solos	Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)		
	< 10	10 - 20	>20
Camadas superficiais	73,7	21,1	5,3
Camadas subsuperficiais	73,3	20,0	6,7
Camadas mais profundas	81,3	6,3	12,6
Todas as camadas	74,5	15,7	7,8

Sódio

A concentração de sódio (Na⁺) no extracto de saturação das camadas dos solos (os que apresentaram sais solúveis) variou entre 2,4 e 264,5 mmol_c L⁻¹ (média 56,2 mmol_c L⁻¹) (Anexo 5). A maior proporção das camadas (43,1%) mostrou concentração de Na⁺ superior a 40 mmol_c L⁻¹ (Figura 26), ao passo que as proporções das concentrações de Na⁺ inferior a 20 mmol_c L⁻¹ e entre 20 e 40 mmol_c L⁻¹ ocorreram em menor proporção (27,5 e 29,4%, respectivamente).

A representatividade concentração de Na⁺ superior a 40 mmol_c L⁻¹ nas camadas superficiais e subsuperficiais (40,0 e 46,7%, respectivamente) era muito maior do que a observada para as concentrações inferiores a 20 mmol_c L⁻¹ (25,0 – 20%) e as concentrações entre 20 e 40 mmol_c L⁻¹ (35-33,3%). No entanto, este padrão era diferente nas camadas mais profundas, dado que a concentração entre 20 e 40 mmol_c L⁻¹ nas camadas subsuperficiais

ocorria em muito menor proporção do que (18,8%) do que as restantes (37,5% -43,8%) (Figura 26).

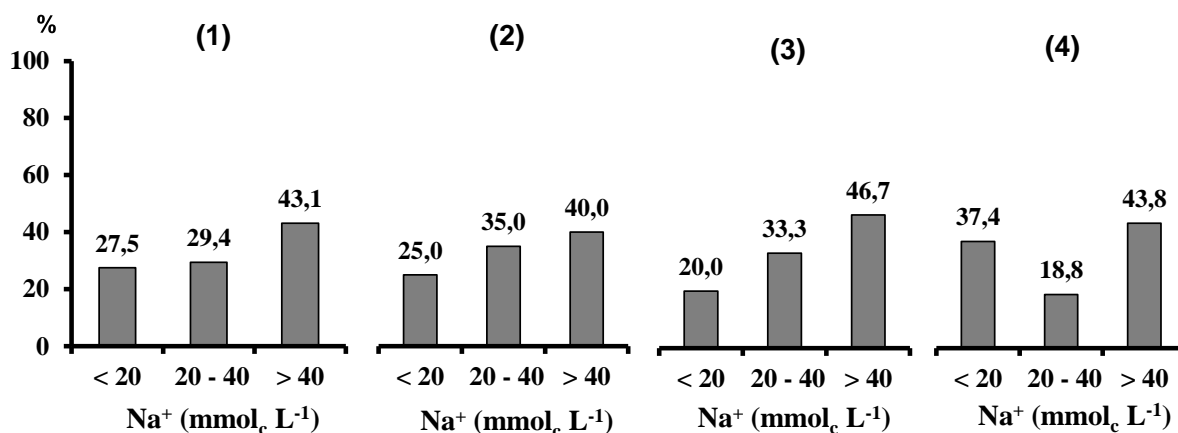


Figura 26. Proporção das diferentes classes de concentração de sódio (Na^+) no extracto de saturação no conjunto das camadas dos solos (1) e das camadas superficiais (2), das camadas subsuperficiais (3) e das camadas profundas (4) dos solos estudados que apresentaram sais solúveis durante a pesquisa.

A concentração de Na^+ no extracto de saturação dos solos nos morros envolventes ao Vale do Cavaco variou entre 4,3 e 938,5 mmol_c L⁻¹ (com média 307,9 mmol_c L⁻¹) manifestando uma amplitude muito maior de concentração do que nos solos do perímetro de rega (Anexo 5).

Potássio

A concentração de potássio (K^+) no extracto de saturação das diferentes camadas dos solos (os que apresentaram sais solúveis) variou entre 0,15 e 50,3 mmol_c L⁻¹ (média 3,5 mmol_c L⁻¹) (Anexo 5). A larguíssima maioria das camadas dos solos (92,2%) mostrou concentração de K^+ inferior a 10 mmol_c L⁻¹; uma proporção muito pequena (3,9%) mostrou concentração entre 10 e 20 mmol_c L⁻¹ e uma outra proporção também muito pequena (3,9%) manifestou concentração de K^+ superior a 20 mmol_c L⁻¹ (Quadro 15).

A proporção da concentração de K^+ inferior a 10 mmol_c L⁻¹ no extracto de saturação foi largamente predominante nas diferentes camadas, diminuindo das superficiais (95,0%) para as subsuperficiais (93,3%) e para as profundas (87,5%), ao passo que as proporções entre 10 e 20 mmol_c L⁻¹ e superior a 20 mmol_c L⁻¹ mostraram representatividades bastante reduzidas nas diferentes camadas (5,0 a 6,7%) (Quadro 15).

A concentração de K^+ no extracto de saturação dos solos nos morros envolventes ao Vale do Cavaco variou entre 0,1 e 16,3 mmol_c L⁻¹ (média 2,7 mmol_c L⁻¹), indicando variação menor em relação aos solos que ocorrem no perímetro de rega (Anexo 5).

Os valores da concentração de K^+ no extracto de saturação das diferentes camadas mostraram-se correlacionados positiva e significativamente ($r = 0,817212$; $p\text{-value} < 0,05$) com os valores de concentração de K^+ de troca.

Quadro 15. Frequências (%) das classes dos valores de potássio (K^+) no extracto das camadas dos solos estudados (que apresentaram sais solúveis durante a pesquisa).

Camadas dos solos	K^+ ($\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$)		
	< 10	10 - 20	> 20
Camadas superficiais	95,0	5,0	-
Camadas subsuperficiais	93,3	-	6,7
Camadas mais profundas	87,5	6,3	6,3
Todas as camadas	92,2	3,9	3,9

Razão de adsorção de sódio

A razão de adsorção de sódio (RAS) no extracto de saturação de algumas das camadas dos solos estudados do perímetro de rega do Vale do Cavaco variou entre 0,8 e 51,5 (Anexo 5). Constatou-se que, a maioria das camadas (52,9%) mostrou RAS abaixo de 13 ao passo que uma proporção relativamente menor (47,1%) apresentou RAS acima de 13 (Figura 27). A proporção dos valores de RAS inferiores a 13 no extracto de saturação diminuiu das camadas superficiais (60,0%) para as subsuperficiais (56,3%) e para as profundas (43,8%), ao passo que a proporção dos valores de RAS superiores a 13 mostrou um padrão inverso (40,0, 46,7 e 56,3%) (Figura 27).

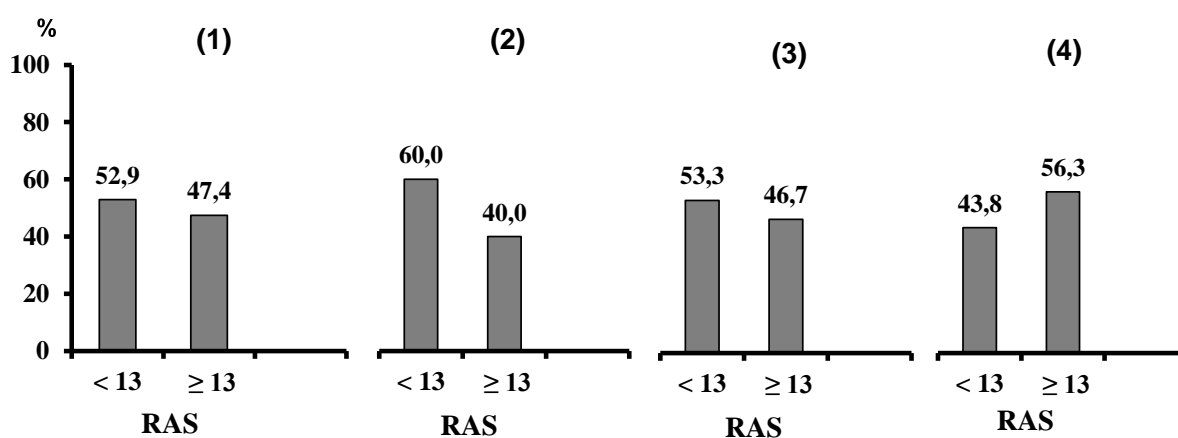


Figura 27. Frequências (%) médias da razão de adsorção de sódio (RAS) do extracto de saturação no conjunto das camadas dos solos (1) e das camadas superficiais (2), subsuperficiais (3) e camadas profundas (4) dos solos estudados que apresentaram sais solúveis.

Os valores da RAS dos solos das colinas dos morros circundantes do perímetro de rega variaram entre 1,66 a 149,1 (média de 54,9). Tais valores sugerem uma amplitude de variação do RAS muito maior em relação ao determinado nos solos do perímetro de rega (Anexo 5).

Aniões

Cloretos

A concentração de cloretos (Cl^-) no extracto de saturação das camadas dos solos estudados (os que apresentaram sais solúveis) variou entre 0,05 e 110,95 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (média 8 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), sendo o valor de limite superior correspondente a camada superficial do perfil PS11, o que apresentou a mais elevada CE no extracto de saturação entre os solos do Vale do Cavaco (Anexo 5 e Figura 12). A maior proporção das diferentes camadas dos solos (86,3%) mostrou concentração de cloretos inferior a 10 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ relativamente àquelas proporções que mostraram concentrações entre 10 e 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (7,8%) e superior a 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (5,9%). Esse mesmo padrão de distribuição das classes de concentração de Cl^- foi observado nas diferentes camadas dos solos estudados (Figura 28).

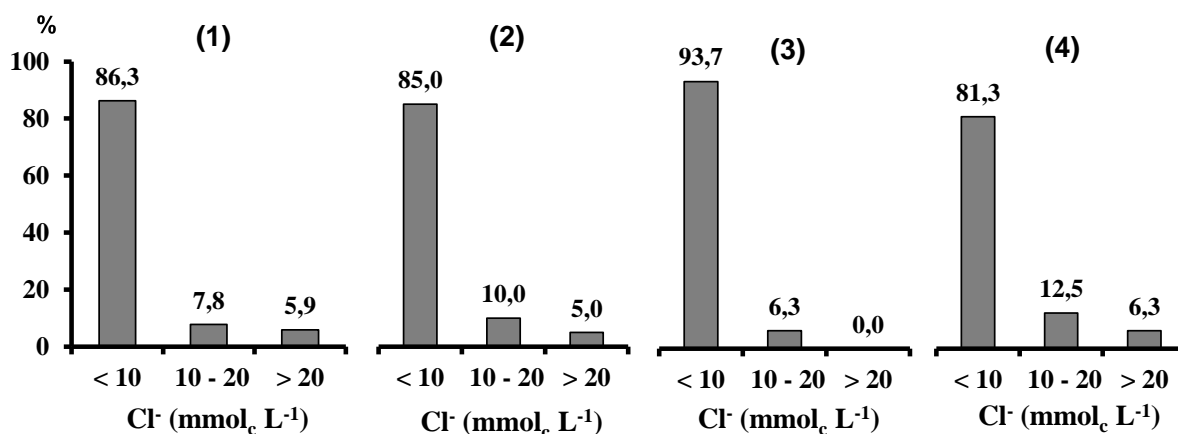


Figura 28. Proporção das diferentes classes de concentração de cloreto (Cl^-) do extracto da saturação no conjunto das camadas dos solos (1) e das camadas superficiais (2), das camadas subsuperficiais (3) e das camadas profundas (4) dos solos estudados que apresentaram sais solúveis.

A concentração de cloretos no extracto de saturação dos solos dos morros envolventes ao Vale do Cavaco variou entre 0,56 e 196,5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (média 51,6 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), manifestando uma amplitude de variação muito maior do que nos solos estudados do perímetro de rega (Anexo 5). As camadas com valores de elevada concentração de Cl^- correspondem aos que também apresentaram elevados valores de CE no extracto de saturação (Anexo 5; Figura 25).

Os valores de concentração de Cl^- no extracto de saturação das camadas dos solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco mostraram uma correlação positiva e significativa comparados com os valores da CE ($r = 0,9572355$; $p\text{-value} < 0,05$) e com os valores da CE na suspensão solo/ H_2O mostraram uma correlação positiva e significativa ($r = 0,8274247$; $p\text{-value} < 0,05$).

Sulfatos

A concentração de sulfatos (SO_4^{2-}) no extracto de saturação das camadas dos solos estudados (os que apresentaram sais solúveis) variou entre 1,54 e 97,68 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (com média 29,6 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$) (Anexo 5). A maior proporção das camadas dos solos (45,1%) mostrou concentração de SO_4^{2-} inferior a 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, enquanto aquelas com concentração entre 20 e 40 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ e superior a 40 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ representavam 21,5 e 33,3%, respectivamente (Quadro 16). Verificou-se que a proporção da concentração de SO_4^{2-} inferior a 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ no extracto de saturação foi dominante e semelhante nas camadas superficiais e profundas (50,0%), mas atingindo menor proporção nas camadas subsuperficiais (33,3%) (Quadro 16). A proporção da concentração de SO_4^{2-} entre 20 e 40 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ foi semelhante nas camadas superficiais e subsuperficiais (20,0%) e maior nas camadas profundas (25,0%) (Quadro 16). Por sua vez, a concentração de SO_4^{2-} superior a 40 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ mostrou-se em maior proporção nas camadas subsuperficiais (46,6%) do que nas camadas superficiais (30,0%) e profundas (25,0%) (Quadro 16).

Quadro 16. Frequências (%) das classes dos valores de sulfatos (SO_4^{2-}) no extracto das camadas dos solos estudados (que apresentaram sais solúveis durante a pesquisa).

Camadas dos solos	SO_4^{2-} ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)		
	< 20	20 - 40	> 40
Camadas superficiais	50,0	20,0	30,0
Camadas subsuperficiais	33,3	20,0	46,6
Camadas mais profundas	50,0	25,0	25,0
Todas as camadas	45,1	21,6	33,3

A concentração de SO_4^{2-} no extracto de saturação das dos solos dos morros das colinas envolventes ao Vale do Cavaco variou entre 0,69 e 215,06 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (média 105 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), manifestando valores muitos elevados e com uma amplitude de variação muito maior em relação aos solos do perímetro de rega (Anexo 5). À semelhança das camadas que apresentaram valores de elevada concentração de Cl nos solos dos morros das colinas envolventes do perímetro de rega do Vale do Cavaco, as camadas com valores de elevada

concentração de SO_4^{2-} também correspondem com as camadas que apresentaram elevados valores de CE no extracto de saturação (Anexo 5; Figura 25).

Bicarbonatos

A concentração de bicarbonatos (CO_3H^-) no extracto de saturação das camadas dos solos estudados (os que apresentaram sais solúveis) variou entre 1 e 23 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (com média 5,6 $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$) (Anexo 5). A larguíssima proporção das camadas dos solos (92,2%) mostrou concentração de CO_3H^- inferior a 10 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, enquanto proporções bastante reduzidas mostraram concentrações entre 10 e 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (5,9%) e superior a 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (2%) (Quadro 17). A proporção da concentração de CO_3H^- inferior a 10 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ no extracto das diferentes camadas mostrou um aumento das camadas superficiais (85,0%) para as subsuperficiais (93,30%) as profundas (100,0%) (Quadro 17). A proporção da concentração de CO_3H^- entre 10 e 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ mostrou somente representatividade nas camadas superficiais (10,0%) e subsuperficiais (6,7%), enquanto a proporção da concentração superior a 20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ mostrou apenas representatividade nas camadas superficiais (5,0%) (Quadro 17).

Quadro 17. Frequências (%) das classes dos valores de bicarbonatos (CO_3H^-) no extracto de alguns das camadas dos solos estudados (que apresentaram sais solúveis).

Camadas do solos	CO_3H^- ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)		
	< 10 (Baixa)	10 - 20 (Média)	> 20 (Alta)
Camadas superficiais	85,0	10,0	5,0
Camadas subsuperficiais	93,3	6,7	-
Camadas mais profundas	100,0	-	-
Todas as camadas	92,2	5,9	2,0

A concentração de CO_3H^- no extracto de saturação das camadas dos solos dos morros envolventes ao Vale do Cavaco variou entre 1,15 e 6,65 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (média 2,4 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), manifestando uma variação muito menor do que nos solos do perímetro de rega (Anexo 5).

4.3. CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA DE REGA E DOS PIEZÓMETROS

A qualidade das águas de rega das estações de captação seleccionadas foi estudada através da determinação dos seguintes parâmetros: pH; condutividade eléctrica (CE); aniões (Cl^- , SO_4^{2-} e CO_3H^-); catiões (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+); e a determinação da razão de adsorção de sódio (RAS), cujos resultados se apresentam nos Quadro 17). Os valores dos parâmetros considerados mostraram-se serem insuficientes quer a nível temporal quer espacial para fazer uma avaliação suficientemente fundamentada da qualidade da água de rega, porquanto das 14 estações de captação inicialmente instaladas para amostragem (Figura 13) apenas oito se mantiveram em condições de amostragem durante o período de estudo. Essa redução das estações seleccionadas para amostragem deveu-se a várias circunstâncias: a exploração do aquífero, a seca que ocorreu na bacia hidrográfica do Vale do Cavaco no período que antecedeu amostragem e durante a mesma e as avarias que ocorreram nas motobombas. Com efeito, verificou-se que em Dezembro de 2011 duas estações (CPS7 e CPS22) apresentavam avarias, em Março de 2012 duas estações de captação (CPS4 e CPS17) mostraram-se avariadas e outras duas (CPS11 e CPS12) ficaram com a tubagem de sucção acima do nível freático devido a exploração do aquífero e da seca que assolava a região, em Maio de 2012 uma estação de captação (CPS19) mostrou-se avariada e três estações de captação ficaram com tubagem de sucção acima do nível freático, finalmente, em Dezembro de 2012 apenas seis estações de captação (CPS7, CPS12, CPS9, CPS11, CPS14, CPS17) apresentavam a tubagem de sucção acima do nível freático devido à contínua seca que se foi tornando cada vez mais severa na bacia hidrográfica do Vale do Cavaco.

Os valores da concentração dos sais solúveis e dos outros parâmetros considerados mostraram grande variabilidade espacial e temporal, o que aliado à escassez de estações de captação operacionais, torna difícil a sua interpretação. No entanto, apresenta-se em seguida as considerações pertinentes sobre os dados disponíveis.

4.3.1. Água de rega

4.3.1.1. pH

As amostras da água de rega das estações de captação apresentaram reacção alcalina, dado que o pH variou entre 7,16 e 8,5 (Quadro 18). Observou-se uma fraca variação do pH na

água de rega tanto entre as várias estações de captação como entre os períodos amostrados e uma forte variação entre as estações de captação durante amostragem. A variação do pH das águas de rega sugere uma variabilidade que está mais associada a condições locais de cada estação de captação do que da variação entre os períodos amostrados.

4.3.1.2. Condutividade eléctrica

A condutividade eléctrica (CE) da água de rega das estações de captação variou entre um mínimo de 0,17 e um máximo de 2,93 dS m⁻¹ durante o período de estudo (Quadro 18). Observou-se que a variação da CE durante o período de estudo mostrou-se fraca em qualquer das estações de captação, ao passo que, entre as várias estações de captação durante a amostragem mostrou-se muito mais acentuada.

A variação da CE das águas de rega das estações de captação sugere uma grande variabilidade espacial das condições de salinidade que estará associada a factores de natureza local. Com efeito, os valores mais elevados de CE da água de rega ocorreram na zona mais próxima da linha da costa na estação de captação CPS3 (2,44 – 2,93 dS m⁻¹) - sendo superiores aos das estações de captação mais próximas CPS1 (0,83 – 1,59 dS m⁻¹) e CPS2 (0,60 – 0,95 dS m⁻¹) - e na zona próxima do centro do perímetro de rega, na estação de captação CPS11 (2,31 dS m⁻¹). Do mesmo modo, os valores mais baixos de CE, variando entre 0,17 e 1,99 dS m⁻¹, foram observados nas estações de captação das várias áreas do perímetro de rega (Figura 29 e Quadro 18). Salienta-se que durante os períodos amostrados devido a extracção de água para a rega e a seca que se fez sentir na região do Vale se foi observando o abaixamento do nível freático nas estações de captação das áreas central e próximas da área central do perímetro de rega a tornar-se progressivamente crítico de tal modo que em alguns períodos (Março, Maio e Dezembro de 2012) as estações CPS7, CPS12, CPS9 e CPS11, CPS14, CPS17 e CPS22 deixaram de captar água para rega (Figura 29). Esta situação foi o motivo pelo qual impossibilitou que algumas amostragens fossem realizadas como se ilustra na Figura 29 abaixo com a falta de dados. Foi igualmente observado que os valores de condutividade eléctrica obtidos mostram um aumento de salinidade nos períodos de Março e Maio de 2012 em todas as estações amostradas em relação aos períodos anterior do mês de Dezembro de 2011 e posterior do mês Dezembro de 2012 (Quadro 18).

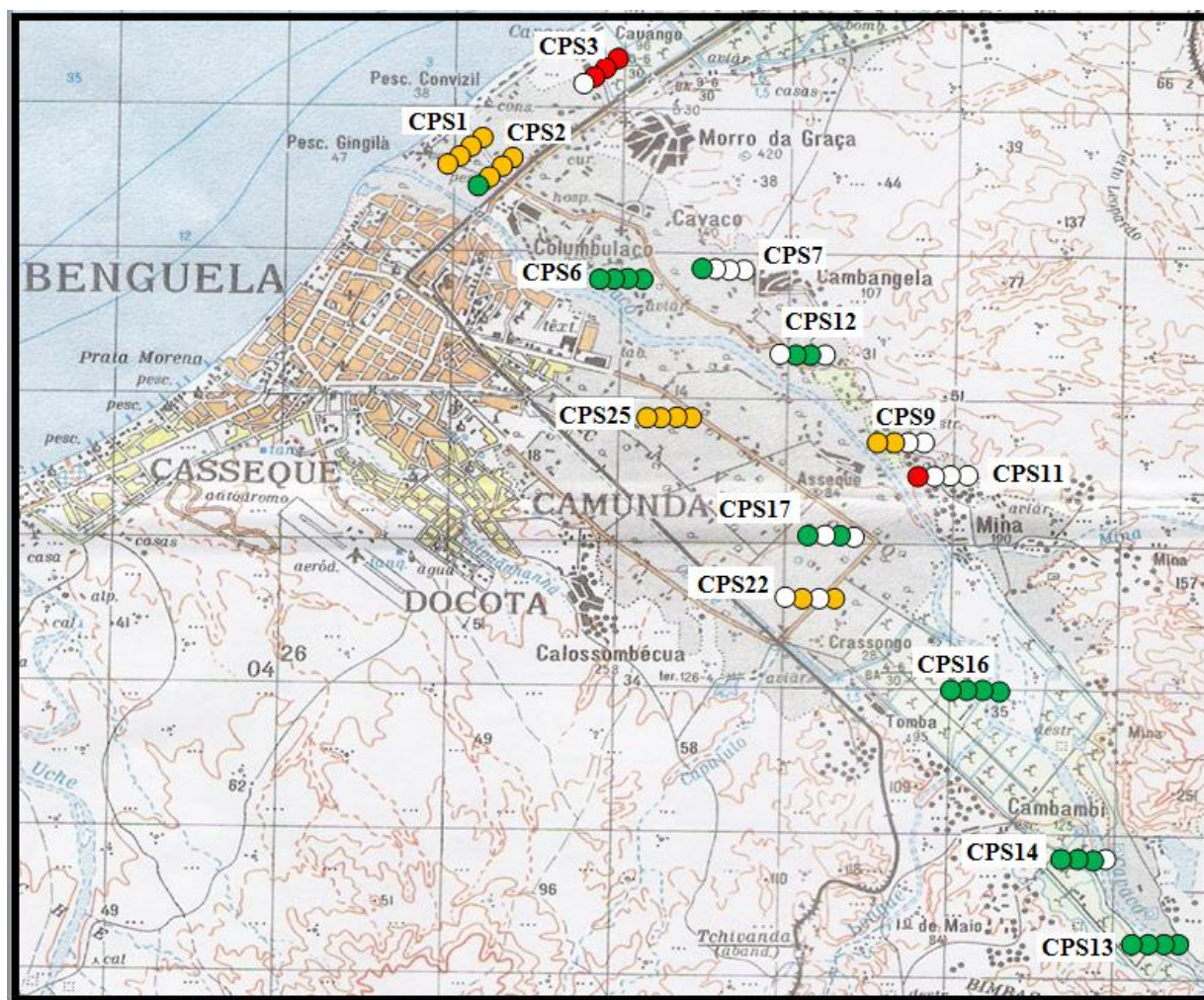
Quadro 18. Reacção (pH), condutividade eléctrica (CE em dS m⁻¹), concentração (mmolc L⁻¹) de sulfatos (SO₄²⁻), cloretos (Cl⁻), (sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) (Adimensional) da água de rega das estações de captação próximo do perfil (CPS).

Período de amostragem	CPS1	CPS2	CPS4	CPS6	CPS7	CPS9	CPS11	CPS12	CPS13	CPS14	CPS16	CPS17	CPS22	CPS25
pH														
Dezembro de 2011	8,03	8,19	8,23	7,85	7,94	8,12	7,77	- ^a	8,06	7,89	7,99	8,01	- ^a	7,95
Março de 2012	7,88	7,61	- ^a	7,75	- ^b	7,68	- ^b	7,75	7,68	7,78	7,56	- ^a	8,47	7,98
Maio de 2012	8,30	8,32	7,94	8,00	- ^b	- ^b	- ^b	8,30	8,02	7,94	7,97	7,78	- ^a	7,75
Dezembro de 2012	7,51	7,55	7,50	7,36	- ^b	- ^b	- ^b	- ^b	7,47	- ^b	7,16	- ^b	7,52	7,31
CE														
Dezembro de 2011	0,83	0,60	2,93	0,33	0,40	0,55	2,31	- ^a	0,32	0,27	0,28	0,40	- ^a	1,72
Março de 2012	1,14	0,92	- ^a	0,42	- ^b	0,69	- ^b	0,50	0,36	0,43	0,33	- ^a	1,77	1,99
Maio de 2012	1,18	0,95	2,44	0,40	- ^b	- ^b	- ^b	0,47	0,39	0,35	0,33	0,48	- ^a	1,93
Dezembro de 2012	1,59	0,75	2,73	0,35	- ^b	- ^b	- ^b	- ^b	0,17	- ^b	0,24	- ^b	1,01	1,58
Ca²⁺														
Dezembro de 2011	2,65	2,7	8,17	1,42	1,79	2,6	10,43	- ^a	1,29	1,02	1,25	1,75	- ^a	5,91
Março de 2012	3,35	3,57	- ^a	1,58	- ^b	2,68	- ^b	1,79	1,19	1,43	1,17	- ^a	3,64	5,66
Maio de 2012	4,02	3,65	6,49	1,48	- ^b	- ^b	- ^b	1,76	1,33	1,14	1,3	1,68	- ^a	5,27
Dezembro de 2012	6,38	3,47	8	1,49	- ^b	- ^b	- ^b	- ^b	0,56	- ^b	0,92	- ^b	3,63	5,21
Mg²⁺														
Dezembro de 2011	1,14	1,52	5,6	0,83	0,89	1,08	1,13	- ^a	0,71	0,56	0,58	0,98	- ^a	3,06
Março de 2012	1,46	1,90	- ^a	0,8	- ^b	1,07	- ^b	0,84	0,58	0,76	0,51	- ^a	1,69	3,13
Maio de 2012	1,52	1,90	4,88	0,77	- ^b	- ^b	- ^b	0,82	0,70	0,58	0,56	0,94	- ^a	2,96
Dezembro de 2012	2,62	1,91	4,96	0,78	- ^b	- ^b	- ^b	- ^b	0,31	- ^b	0,47	- ^b	0,36	0,57
Na⁺														
Dezembro de 2011	4,57	2,54	27,7	1,61	2,09	2,09	3,33	- ^a	1,25	1,80	1,31	2,73	- ^a	10,33
Março de 2012	4,27	2,68	- ^a	1,16	- ^b	2,10	- ^b	1,68	1,21	1,27	0,09	- ^a	6,67	10,60
Maio de 2012	4,79	3,02	19,9	1,26	- ^b	- ^b	- ^b	1,61	1,32	1,25	1,00	1,76	- ^a	10,44
Dezembro de 2012	8,07	2,84	17,8	1,36	- ^b	- ^b	- ^b	- ^b	0,72	- ^b	0,97	- ^b	6,49	9,57
K⁺														
Dezembro de 2011	0,51	0,16	0,43	0,08	0,12	0,10	0,20	- ^a	0,13	0,13	0,13	0,14	- ^a	0,25
Março de 2012	0,53	0,11	- ^a	0,04	- ^b	0,04	- ^b	0,15	0,18	0,19	0,07	- ^a	0,12	0,12
Maio de 2012	0,53	0,22	0,23	0,04	- ^b	- ^b	- ^b	0,07	0,12	0,09	0,06	0,07	- ^a	0,13
Dezembro de 2012	0,88	0,18	0,26	0,07	- ^b	- ^b	- ^b	- ^b	0,08	- ^b	0,09	- ^b	0,1	0,11

Quadro 18. (Continuação 1)

Período de amostragem	CPS1	CPS2	CPS4	CPS6	CPS7	CPS9	CPS11	CPS12	CPS13	CPS14	CPS16	CPS17	CPS22	CPS25
RAS														
Dezembro de 2011	3,32	1,75	10,5	1,52	1,81	1,54	1,38	- ^a	1,25	2,02	1,37	2,34	- ^a	4,88
Março de 2012	3,04	1,62	- ^a	1,07	- ^b	1,53	- ^b	1,46	1,29	1,22	0,98	- ^a	4,08	5,06
Maio de 2012	2,88	1,81	8,38	1,19	- ^b	- ^b	- ^b	1,42	1,31	1,35	1,04	1,54	- ^a	5,15
Dezembro de 2012	3,80	1,73	6,99	1,28	- ^b	- ^b	- ^b	- ^b	1,10	- ^b	1,16	- ^b	4,59	5,63
Cl⁻														
Dezembro de 2011	0,46	0,32	2,9	0,18	0,21	0,55	1,58	- ^a	0,24	0,18	0,13	0,27	- ^a	1,03
Março de 2012	0,85	0,56	- ^a	0,34	- ^b	0,69	- ^b	0,41	0,49	0,38	0,26	- ^a	0,75	1,21
Maio de 2012	0,96	0,57	2,25	0,30	- ^b	- ^b	- ^b	0,39	0,13	0,28	0,24	0,38	- ^a	1,15
Dezembro de 2012	1,32	0,48	2,14	0,36	- ^b	- ^b	- ^b	- ^b	0,25	- ^b	0,17	- ^b	0,77	0,95
SO₄²⁻														
Dezembro de 2011	7,71	0,00 ^c	15,77	0,17	1,2	0,34	14,05	- ^a	0,17	0,00 ^c	0,17	0,00 ^c	- ^a	6,00
Março de 2012	1,37	0,00 ^c	- ^a	0,00 ^c	- ^b	0,00 ^c	- ^b	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^c	- ^a	0,00 ^c	0,00
Maio de 2012	0,00 ^c	2,57	14,57	0,00 ^c	- ^b	- ^b	- ^b	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^c	0,17	- ^a	5,83
Dezembro de 2012	6,00	2,23	15,77	1,20	- ^b	- ^b	- ^b	- ^b	0,69	- ^b	0,69	- ^b	3,94	7,03
CO₃H⁻														
Dezembro de 2011	5,00	4,6	9,00	3,3	3,0	3,8	5,0	- ^a	2,80	3,20	3,3	4,3	- ^a	7,8
Março de 2012	5,35	5,65	- ^a	2,95	- ^b	3,15	- ^b	3,55	2,90	2,86	2,8	- ^a	7,15	8,45
Maio de 2012	6,15	6,25	9,55	3,45	- ^b	- ^b	- ^b	7,45	3,15	4,25	5,05	4,25	- ^a	7,75
Dezembro de 2012	9,20	6,2	9,2	5,2	- ^b	- ^b	- ^b	- ^b	3,20	- ^b	4,20	- ^b	10,2	9,20
CO₃²⁻														
Dezembro de 2011	0,03	0,03	0,07	0,01	0,01	0,02	0,01	- ^a	0,02	0,01	0,02	0,02	- ^a	0,03
Março de 2012	0,02	0,01	- ^a	0,01	- ^b	0,01	- ^b	0,01	0,07	0,01	0,01	- ^a	0,10	0,04
Maio de 2012	0,07	0,06	0,03	0,05	- ^b	- ^b	- ^b	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	- ^a	0,02
Dezembro de 2012	0,01	0,01	0,01	0,01	- ^b	- ^b	- ^b	- ^b	0,01	- ^b	- ^c	- ^b	0,02	0,01

Simbologia: ^aAmostragem não realizada por avaria da motobomba da captação; ^bAmostragem não realizado devido a tolha freática estar abaixo da tubagem de sucção da captação, ^cAmostra de água sem presença de SO₄²⁻.



● CE < 0,75 dS m⁻¹ ● CE: 0,75 – 2,25 dS m⁻¹ ● CE > 2,25 dS m⁻¹ ○ Não há dados

Figura 29. Classes de condutividade eléctrica da água de rega amostrada nas estações de captação (C) no perímetro de rega do Vale do Cavaco. A sequência horizontal das classes de condutividade corresponde da esquerda para direita às amostragens de Dezembro de 2011, Março de 2012, Maio de 2012 e Dezembro de 2012.

4.3.1.3. Catiões solúveis e razão de adsorção de sódio

Cálcio

A concentração de cálcio (Ca²⁺) na da água de rega das estações de captação variou, durante o período do estudo, entre 0,56 e 10,4 mmol_c L⁻¹ (Quadro 18). A variação da concentração do Ca²⁺ na água de rega entre as estações de captação durante o período de estudo foi muito maior do que a verificada em qualquer das estações de captação estudadas.

A variação da concentração de Ca²⁺ na água de rega entre as várias estações de captação sugere uma grande variabilidade espacial que pode ser associada às condições de

natureza locais. As concentrações mais elevadas de Ca^{2+} na água de rega foram observadas na estação de captação CPS11 (10,43 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), localizada na zona próxima do centro do perímetro de rega, mas concentrações de Ca^{2+} também relativamente elevadas foram observadas tanto na água das estações de captação CPS1, CPS2 e CPS4 (2,65 – 8,17 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), localizadas na proximidade da linha da costa, como na das estações de captação CPS25, CPS22 e CPS9 (2,60 – 5,91 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), localizadas nas áreas interiores do perímetro de rega (zona periférica e zona central) (Quadro 17, Figura 13 e 30). Por sua vez, as mais baixas concentrações de Ca^{2+} (inferiores a 1,79 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foram também observadas nas diferentes estações de captação no interior do perímetro de rega (Quadro 18 Figura 13 e 30).

A concentração de Ca^{2+} na água de rega das estações de captação também podem ser associados às condições de salinidade, dado que os valores de concentração de Ca^{2+} mostraram-se positiva e significativamente correlacionadas com os valores da CE ($r = 0,956768$; $p\text{-value} < 0,05$).

Magnésio

A concentração de magnésio (Mg^{2+}) nas amostras da água de rega das estações de captação variou entre o mínimo de 0,3 e o máximo de 5,6 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ no período de estudo (Quadro 17). Tal como referido para o cálcio, constatou-se que a diferença de concentração do Mg^{2+} na água de rega entre as várias estações de captação mostrou-se muito maior do que a ocorrida em qualquer uma das estações de captação durante o período de estudo.

A concentração de Mg^{2+} observada na água de rega das várias estações de captação também sugere uma grande variabilidade espacial, a qual deverá estar associada, tal como na concentração do cálcio, às condições de natureza locais de cada estação amostrada no período de estudo. Pois, concentrações mais elevadas de Mg^{2+} , variando entre 4,88 e 5,60 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ foram observadas na água de rega da estação de captação CPS4, localizada na zona mais próxima da linha da costa; concentrações de Mg^{2+} muito menos elevadas ocorreram tanto na água das estações de captação CPS1 e CPS2 (1,14 – 2,62 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), localizadas na proximidade da linha da costa, assim como na água da estação CPS13 (0,57 – 3,13 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), localizada na zona periférica da área central do perímetro de rega e na água da estação de captação CPS22 (0,36 – 1,69 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), localizada no centro do perímetro de rega. As concentrações de Mg^{2+} na água de rega das restantes estações de captação do perímetro de rega foram generalizadamente inferiores a 1,13 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Quadro 18, Figura 13 e 30).

A diferente concentração de Mg^{2+} na água de rega das estações de captação poderá ser associada á salinidade, devido ao facto dos valores da concentração de Mg^{2+} mostrarem uma correlação positiva e significativa com os valores da CE ($r = 0,869046$; $p\text{-value} < 0,05$).

Sódio

A concentração do sódio (Na^+) na água de rega nas diferentes estações de captação variou entre 0,09 e 27,7 $mmol_c L^{-1}$ no período de estudo (Quadro 18). Do mesmo modo que foi observado na concentração de Ca^{2+} e de Mg^{2+} , a concentração do Na^+ na água de rega mostrou também maior amplitude entre as várias estações de captação durante a amostragem do que em qualquer uma das estações de captação amostradas nas diferentes amostragens.

A concentração do Na^+ na água de rega das várias estações de captação sugere uma grande variabilidade espacial, a qual deverá estar associada a condições de natureza locais, tal como se sugeriu para o Ca^{2+} e o Mg^{2+} . As concentrações mais elevadas do Na^+ foram observadas na água de rega da estação de captação CPS4 (17 – 27,7 $mmol_c L^{-1}$), localizada na zona mais próxima da linha da costa; concentrações bastante elevadas foram ainda observadas tanto na água das estações de captação CPS25 e CPS22 (6,49 – 10,60 $mmol_c L^{-1}$), localizadas na zona periférica da área central do perímetro de rega, como na estação CPS1 (8,07 $mmol_c L^{-1}$), também localizada na proximidade da linha da costa. Assim, nas demais estações de captação, localizadas nas várias áreas do perímetro de rega, as concentrações do Na^+ foram muito mais baixas e variaram entre 0,09 e 4,79 $mmol_c L^{-1}$ (Quadro 18, Figura 13 e 30).

Como observado para os iões Mg^{2+} , os valores da concentração do Na^+ mostraram uma correlação positiva e significativa com os valores da CE ($r = 0,896266$; $p\text{-value} < 0,05$), podendo a concentração de Na^+ ser associada às condições de salinidade na água de rega das estações de captação.

Potássio

A concentração de potássio (K^+) na água de rega das estações de captação foi genericamente muito baixa comparativamente à observada para os outros catiões, pois variou entre 0,04 e 0,88 $mmol_c L^{-1}$ durante o período de estudo (Quadros 18, Figura 13 e 30). A concentração do ião K^+ na água de rega entre as várias estações de captação sugere uma fraca variabilidade quer entre as várias estações de captação como em qualquer uma das estações amostradas durante o período de estudo. Ainda assim, a concentração de K^+ poderá ser associada às condições de salinidade, mas em muito menor grau do que o observado para os

outros cátions considerados, porquanto os valores da concentração de K^+ mostraram uma correlação muito mais fraca com os valores da CE ($r = 0,434528$; $p\text{-value} < 0,05$) na água de rega das estações de captação amostradas.

Razão de adsorção de sódio

O valor da razão de adsorção de sódio (RAS) da água de rega das estações de captação do Vale do Cavaco variou entre 0,98 e 10,5 durante o período de amostragem (Quadro 18). A variação da RAS entre as várias estações de captação foi muito maior do que a observada em cada uma das estações durante o período de estudo, em concordância com o padrão referido para as concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ .

A variação do RAS na água de rega das várias estações de captação sugere uma grande variabilidade espacial. Os valores mais elevados do RAS da água de rega foram observados na estação de captação CPS4 (6,99 – 10,5) – a que apresentou as concentrações mais elevadas do Na^+ . Valores bastante elevados foram ainda observados na água das estações de captação CPS25 e CPS22 (4,08 – 5,63), localizadas na área interior do perímetro de rega (zona periférica e central) e onde foram também determinados elevados teores de Na^+ . Valores de RAS muito mais baixos (0,98 e 2,34) foram observados na água de rega das restantes estações de captação localizadas nas várias zonas do perímetro de rega (Quadro 18; Figura 13 e 30).

Os valores do RAS mostraram uma correlação positiva e significativa com os valores da CE ($r = 0,868779$; $p\text{-value} < 0,05$) e principalmente com os valores da concentração do ião Na^+ ($r = 0,982383$; $p\text{-value} < 0,05$) na água de rega das estações de captação estudadas.

4.3.1.4. Aniões solúveis

Cloretos

Durante o período de amostragem, a concentração do ião cloreto (Cl^-) na água de rega das estações de captação variou entre 0,3 e 2,29 $mmol_c L^{-1}$ (Quadro 17). Como foi observado para outros parâmetros anteriormente referidos, a concentração de Cl^- na água de rega também mostrou ser maior entre as várias estações de captação durante amostragem do que em cada uma das estações durante o estudo.

A concentração de Cl^- na água das várias estações de captação estudadas sugere uma grande variabilidade espacial. Com efeito, as concentrações de Cl^- mais elevadas foram observadas na estação de captação CPS4 (2,14 – 2,9 $mmol_c L^{-1}$), localizada na zona mais

próxima da linha da costa, as quais foram bastante mais elevadas do que as determinadas nas estações de captação CPS11 e CPS25 ($1,03-1,58 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$), localizadas no interior do perímetro de rega, localizada na zona periférica próxima do centro do perímetro de rega. As concentrações destas, por sua vez, eram mais elevadas do que as determinadas nas restantes estações de captação distribuídas pelo perímetro de rega ($0,13$ e $0,96 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$) (Quadro 18; Figura 13 e 30).

Observou-se que os valores de concentração de Cl^- se correlacionaram positiva e significativamente com os valores da CE ($r = 0,9155970$; $p\text{-value} < 0,05$), mostrando assim que a concentração de Cl^- pode ser associada às condições de salinidade na água de rega das estações de captação estudadas.

Sulfatos

A concentração de sulfatos (SO_4^{2-}) nas águas de rega das estações de captação variou entre valores nulos e $15,77 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ no período de amostragem (Quadro 18). Observou-se que a variação da concentração SO_4^{2-} entre as várias estações de captação foi muito maior durante a amostragem do que em cada uma das estações de captação amostradas durante o período de estudo.

A variação da concentração de SO_4^{2-} entre as várias estações de captação também indica uma grande variabilidade espacial, pois, as concentrações mais elevadas, assim como as concentrações mais baixa e até mesmo as nulas, foram observados tanto na zona mais próxima da linha da costa como nas várias zonas do interior do perímetro de rega. As concentrações mais elevadas de SO_4^{2-} na água de rega ocorreram tanto na estação de captação CPS4 ($14,57 - 15,77 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$), localizada na zona mais próxima da linha da costa, como na estação de captação distante CPS11 ($14,05 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$), localizada na zona próxima do centro perímetro de rega; concentrações relativamente elevadas de SO_4^{2-} foram ainda observadas nas estações de captação CPS1 e CPS25 ($6,0 - 7,1 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$) localizadas na proximidade da linha costa e na zona do interior do perímetro de rega, respectivamente. Também neste caso, as concentrações mais baixas de SO_4^{2-} ($0,17$ e $3,94 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$) ou as nulas foram observadas na água das estações de captação distribuídas pelas várias áreas do perímetro de rega (Quadro 18; Figura 13 e 30).

Os valores de concentração de SO_4^{2-} mostraram uma correlação positiva e significativa com os valores da CE ($r = 0,668815$; $p\text{-value} < 0,05$) na água de rega das estações de captação, mas em menor grau do que o observado para os valores de concentração de Cl^- .

Bicarbonatos

A concentração do ião bicarbonato (CO_3H^-) na água de rega das estações de captação variou entre 2,8 e 10,2 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ no período estudado (Quadro 18). Durante o período da amostragem, a variação da concentração do CO_3H^- da água de rega das várias estações de captação, embora mais acentuada do que a verificada em cada uma das estações de captação, foi menos acentuada do que as observadas para as concentrações de Cl^- e de SO_4^{2-} . Com efeito, o ratio entre a concentração máxima e a mínima foi apenas cerca de 3,6 enquanto para as concentrações de Cl^- e de SO_4^{2-} foram de 22,31 e 92,76 respectivamente.

A concentração de CO_3H^- na água de rega entre as várias estações de captação sugere uma grande variabilidade, porquanto as concentrações mais elevadas de CO_3H^- na água de rega foram observados tanto nas estações de captação CPS1 (6,15 – 9,2 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), CPS2 (6,2 – 6,25 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e CPS4 (9,0 – 9,55 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), localizadas na zona mais próxima da linha da costa, assim como nas estações de captação CPS22 (7,15 – 10,2 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), localizada na zona da área central do perímetro de rega, CPS25 (7,8 – 9,2 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), localizada na zona da periferia da área central do perímetro de rega e as concentrações mais baixas de CO_3H^- variando entre 2,8 e 5,65 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ foram observadas na água de rega das restantes estações de captação das várias zonas do interior do perímetro de rega (Quadros 18; Figura 13 e 30).

Os valores de concentração de CO_3H^- mostraram correlação positiva e significativa com os valores de concentração do Na^+ ($r = 0,7665064$; $p\text{-value} < 0,05$) e do valor do SAR ($r = 0,806746$; $p\text{-value} < 0,05$) e da CE ($r = 0,787825$; $p\text{-value} < 0,05$) na água de rega das estações de captação estudadas.

Carbonatos

A concentração de carbonatos (CO_3^{2-}) nas águas de rega das estações de captação foi genericamente muito baixa do que a dos outros aniões, variando entre 0,01 e 0,1 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Quadro 18). Durante a amostragem a variação da concentração de CO_3^{2-} foi quase da mesma ordem de grandeza quer entre as várias estações de captação como em qualquer uma das estações de captação amostradas no período (Quadro 18).

A concentração de CO_3^{2-} nas amostras das águas das estações de captação sugere muito fraca variabilidade na água do aquífero durante o período (0,01 – 0,1 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e individualmente entre as estações (0,02 – 0,1 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) amostradas no perímetro de rega do Vale do Cavaco. Os valores da concentração de CO_3^{2-} mostraram uma correlação positiva e

significativa com os valores de pH ($r = 0,6579653$; $p\text{-value} < 0,05$), mas não com os valores de concentração de Na^+ ($p\text{-value} > 0,05$) e do SAR ($p\text{-value} > 0,05$).

4.3.2. Água dos piezómetros

Os dados dos parâmetros da água dos piezómetros mostraram-se ainda mais insuficientes do que os da água das estações de captação. De facto, de catorze piezómetros instalados para amostragem da água ao longo do estudo, somente em três deles, localizados na zona mais próxima da linha da costa (ZPS1, ZPS2 e ZPS3), foi possível efectuar a amostragem; entre estes, somente nos piezómetros ZPS1 e ZPS3 foi possível realizar a amostragem (incompleta) nas quatro datas, enquanto o piezómetro ZPS2 foi amostrado somente numa data. No piezómetro ZPS3 na primeira data de amostragem não mostrou água, enquanto no piezómetro ZPS1 na última data não foi possível realizar a amostragem por ter sido vandalizado por um operador de tractor. A larga proporção de piezómetros não foi possível ser amostrada por factores de natureza local, incluindo o abaixamento da toalha freática. Assim, os resultados são meramente indicativos de locais específicos.

O pH da água dos piezómetros variou entre 7,75 e 8,5 (Quadro 19 e Figura 14), correspondendo a reacção alcalina. O intervalo de variação do pH da água foi semelhante ao intervalo de variação do pH da água de rega (7,5 e 8,32) das estações de captação na zona mais próxima da linha costa (Quadros 18 e 19, Figura 14).

A condutividade eléctrica (CE) variou entre 1,08 e 3,83 dS m^{-1} (Quadro 19). Observou-se que a variação da CE da água dos piezómetros foi inferior à variação da CE na água das estações de captação (entre 0,6 e 2,93 dS m^{-1}) (Quadro 18 e 19, Figura 14). A CE no piezómetro ZPS1 (2,07 e 2,85 dS m^{-1}) e no piezómetro ZPS2 (1,08 dS m^{-1}) foi superior à CE da água das respectivas estações captação CPS1 (0,83 – 1,59 dS m^{-1}) e CPS2 (0,60 – 0,95 dS m^{-1}), mas a do piezómetro ZPS3 (1,27 – 2,31 dS m^{-1}) foi inferior aos valores da captação vizinha CPS3 (2,44 – 2,93 dS m^{-1}) (Quadros 18 e 19, Figuras 13 e 14).

A concentração de cálcio (Ca^{2+}) na água dos piezómetros variou entre 1,66 e 3,9 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Quadro 19). A concentração no piezómetro ZPS1 (1,9 – 2,68 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e no piezómetro ZPS3 (1,66 – 2,73 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foi inferior às concentrações do Ca^{2+} da água das respectivas estações de captação (CPS1, 2,65 – 6,38 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$; CPS3, 6,49 – 8,17 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), enquanto a concentração no piezómetro ZPS2 (3,92 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foi superior às

concentrações de Ca^{2+} da água da estação de captação vizinha (CPS2, 2,7 – 3,65 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) (Quadro 19 e Figura 14).

Quadro 19. Reacção (pH), condutividade eléctrica (CE), concentração ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) de sulfatos (SO_4^{2-}) cloreto (Cl^{-1}), sódio (Na^{+}) e razão de adsorção de sódio (RAS) (Adimensional) das amostras de água recolhidas nos piezómetros 1, 2 e 3.

Período de amostragem	ZPS1	ZPS2	ZPS3	Período de amostragem	ZPS1	ZPS2	ZPS3	Período de amostragem	ZPS1	ZPS2	ZPS3
	pH				Na^{+}				SO_4^{2-}		
Dezembro de 2011	8,11	-	-	Dezembro de 2011	19,17	-	-	Dezembro de 2011	4,11	-	-
Março de 2012	7,75	-	8,29	Março de 2012	21,70	-	16,97	Março de 2012	6,17	-	9,42
Maio de 2012	8,36	8,28	8,56	Maio de 2012	31,73	4,02	14,57	Maio de 2012	12,85	1,03	6,17
Dezembro de 2012	-	-	7,80	Dezembro de 2012	-	-	12,03	Dezembro de 2012	-	-	5,48
	CE				K^{+}				CO_3H^{-}		
Dezembro de 2011	2,07	-	-	Dezembro de 2011	0,36	-	-	Dezembro de 2011	11,3		
Março de 2012	2,85	-	2,31	Março de 2012	0,31	-	0,21	Março de 2012	11,65		7,45
Maio de 2012	3,83	1,08	1,91	Maio de 2012	0,31	0,53	0,15	Maio de 2012	11,15	6,45	7,25
Dezembro de 2012	-	-	1,27	Dezembro de 2012	-	-	0,17	Dezembro de 2012			10,2
	Ca^{2+}				RAS				CO_3^{2-}		
Dezembro de 2011	1,9	-	-	Dezembro de 2011	13,85	-	-	Dezembro de 2011	0,07		
Março de 2012	2,33	-	2,73	Março de 2012	14,3	-	11,43	Março de 2012	0,02		0,07
Maio de 2012	2,68	3,92	1,66	Maio de 2012	18,11	2,29	12,61	Maio de 2012	0,12	0,06	0,13
Dezembro de 2012	-	-	2,0	Dezembro de 2012	-	-	9,44	Dezembro de 2012			0,03
	Mg^{2+}				Cl^{-}						
Dezembro de 2011	1,93	-	-	Dezembro de 2011	1,47	-	-				
Março de 2012	2,25	-	1,68	Março de 2012	2,01	-	1,15				
Maio de 2012	3,46	2,27	1,01	Maio de 2012	2,68	0,58	0,94				
Dezembro de 2012	-	-	1,24	Dezembro de 2012	-	-	0,6				

- Não há dado.

ZPS1 = Piezómetro 1, ZPS2 = Piezómetro 2 e ZPS3 = Piezómetro 3.

As concentrações de magnésio (Mg^{2+}) da água dos piezómetros ZPS1 (1,93 – 3,46 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e ZPS3 (1,01 – 1,68 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foram generalizadamente inferiores às concentrações na água das estações de captação vizinhas (CPS1, 1,14 – 2,62 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$; CPS3, 4,88 – 5,6 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), ao passo que a concentração no piezómetro ZPS2 (2,27 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foi superior às concentrações de Mg^{2+} da água da estação vizinha (CPS2, 1,52 – 1,91 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) (Quadro 19 e Figura 14).

A concentração de sódio (Na^+) na água dos piezômetros variou entre 4,03 e 31,73 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Quadro 19). As concentrações do Na^+ na água dos piezômetros ZPS1 (19,17 – 31,73 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e ZPS2 (4,02 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foram muito superiores às concentrações do Na^+ da água das respectivas estações de captação (CPS1, 4,27 – 8,07 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$; CPS2, 2,54 – 3,02 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), mas as concentrações na água do piezômetro ZPS3 (12 – 16,17 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foram inferiores às concentrações do Na^+ na água da estação de captação próxima (CPS3, 17,8 – 27,7 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) (Quadro 19 e Figura 14). A concentração do Na^+ na água dos piezômetros mostrou uma correlação positiva e significativa com os valores da CE ($r = 0,962331$; $p\text{-value} < 0,05$).

A concentração de potássio (K^+) na água dos piezômetros variou entre 0,15 e 0,53 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Quadro 19). Tanto as concentrações de K^+ na água do piezômetro ZPS1 (0,31 – 0,36 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) como do piezômetro ZPS3 (0,15 – 0,21 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foram inferiores às concentrações da água das respectivas estações de captação locais (CPS1, 0,51 – 0,88 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$; CPS3, 0,23 – 0,43 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), mas a concentração de K^+ na água do piezômetro ZPS2 (0,53 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foi superior as concentrações da água da estação de captação (CPS2, 0,11 – 0,22 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) (Quadro 19 e Figura 14).

A razão de adsorção de sódio (RAS) na água dos piezômetros variou entre 2,29 e 18,1 (Quadro 19). Os valores dos piezômetros ZPS1 (13,85 – 18,11) e ZPS2 (2,29) foram superiores aos valores do RAS na água das respectivas estações de captação CPS1 (2,80 – 3,80) e CPS2 (1,62 – 1,81), ao passo que os valores do RAS na água do piezômetro ZPS3 (9,44 – 12,61) foram predominantemente superiores aos valores do RAS na água da estação de captação mais próxima (CPS3, 6,99 – 10,5) (Quadro 19 e Figura 14). Os valores do RAS mostraram uma correlação positiva e significativa com os valores da CE ($r = 0,865525$; $p\text{-value} < 0,05$).

A concentração de cloretos (Cl^-) variou entre 0,5 e 2,6 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Quadro 19). As concentrações de Cl^- na água do piezômetro ZPS1 (1,47 – 2,68 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e do piezômetro ZPS2 (0,58 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foram superiores às concentrações de Cl^- na água das respectivas estações (CPS1, 0,46 – 1,32 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$; CPS2, 0,32 – 0,57 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), mas as concentrações de Cl^- na água do piezômetro ZPS3 (0,6 – 1,15 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foram inferiores às concentrações na água da estação de captação mais próxima (CPSE32, 14 – 2,9 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) (Quadro 19 e Figura 14). A concentração de Cl^- na água dos piezômetros mostrou uma correlação positiva e significativa com os valores da CE ($r = 0,971677$; $p\text{-value} < 0,05$).

As concentrações de sulfatos (SO_4^{2-}) no piezômetro ZPS1 (4,11 – 12,85 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) foram predominantemente superiores às concentrações de SO_4^{2-} na água da estação de captação mais próxima (CPS1, 1,37 – 7,71 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), enquanto as concentrações nos piezômetros ZPS2 (1,03 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e ZPS3 (5,48 – 9,42 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), ao contrário do observado para o Cl^- , foram inferiores às concentrações na água das respectivas estações de captação CPS2 (2,23 e 2,57 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e CPS3 (14,57 – 15,77 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) (Quadro 19 e Figura 14). As concentrações de SO_4^{2-} na água dos piezômetros mostraram uma correlação positiva e significativa com os valores da CE ($r = 0,841329$; $p\text{-value} < 0,05$).

As concentrações de bicarbonatos (CO_3H^-) nos piezômetros ZPS1 (11,15 – 11,65 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e ZPS2 (6,45 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), como observado para as concentrações de Cl^- , foram superiores às concentrações de CO_3H^- na água das respectivas estações de captação CPS1 (5,0 – 9,20 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) e CPS2 (4,6 – 6,25 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$), mas concentrações no piezômetro ZPS3 (7,25 – 10,2 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) mostraram ordens de grandeza aproximadas às concentrações de CO_3H^- na água da estação de captação mais próxima CPS3 (9,0 – 9,55 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$) (Quadro 19 e Figura 14). As concentrações de CO_3H^- mostraram correlação positiva e significativa com os valores da CE ($r = 0,5614253$; $p\text{-value} < 0,05$).

A concentração de carbonatos (CO_3^{2-}), tal como na água de rega das estações de captação na zona mais próxima da linha da costa, foi também genericamente muito baixa em comparação com os outros aniões, variando entre 0,02 e 0,13 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Quadro 19 e Figura 14). A concentração de CO_3^{2-} na água dos piezômetros mostrou valores com ordens de grandeza muito aproximadas à dos valores da concentração de CO_3^{2-} na água das estações de captação consideradas (Quadros 19). A concentração de CO_3^{2-} na água dos piezômetros mostrou correlação positiva e significativa com os valores do pH ($r = 0,856997$; $p\text{-value} < 0,05$).

CAPÍTULO V

DISCUSSÃO

5.1. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS SOLOS

O presente estudo revela que os solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco enquadram-se no grupo principal *Fluissolos* (WRB, 2006) e se desenvolvem sobre formações aluviais com características muito variadas e, em parte, dependentes da granulometria dessas mesmas formações. Os *Fluissolos* correspondem maioritariamente a *Fluissolos hipossálicos endosódicos* (38,5%), seguidos dos *Fluissolos háplicos sódicos* (19,2%) e *Fluissolos háplicos hiposódicos* (15,4%); em menor proporção também ocorrem os *Fluissolos háplicos endosódicos* (11,5%), *Fluissolos hipossálicos sódicos* (7,7%), *Fluissolos hiperssálicos endosódicos* (3,8%) e *Fluissolos hipossálicos êutricos* (3,8%). Este padrão taxonómico difere parcialmente do que se obtém a partir dos dados de Diniz (1974), obtidos há várias décadas, sobre os solos da área do perímetro de rega quanto à sua aptidão e utilização para o regadio. De acordo com esses dados, constata-se que os *Fluissolos* da área de estudo se enquadram maioritariamente nos *Fluissolos hipossálicos calcáricos* (21,7%) e *Fluissolos háplicos hiposódicos* (21,7%), seguidos dos *Fluissolos háplicos calcáricos* (17,4%), *Fluissolos háplicos êutricos* (17,4%) e *Fluissolos hipossálicos êutricos* (8,7%), e de baixa proporção de *Fluissolos háplicos cálcicos* (4,3%), de *Fluissolos sálicos calcáricos* (4,3%), e de *Fluissolos sálicos sódicos* (4,3%). Quer dizer, num período um pouco superior a quarenta anos, a representatividade dos *Fluissolos háplicos* (46,1%) decresceu relativamente á obtida (60,8%) a partir dos dados de Diniz (1974).

Por sua vez, os solos que ocorrem em áreas adjacentes ao perímetro do Vale do Cavaco – em correspondência com relevo ondulado, em que predominam as formações sedimentares de origem marinha ou continental -, enquadram-se maioritariamente nos *Solonchaks hiperssálicos endosódicos* (33,3%) e *Solonchaks hiperssálicos sódicos* (33,3%), associados a *Solonchaks sálicos endosódicos* (16,7%) e *Solonchaks hipossálicos sódicos* (16,7%). Aliás, a representatividade dos solos do grupo principal *Solonchaks* está de certo modo contemplada nas considerações de Diniz (1974) sobre as características dos solos no perímetro de rega, considerando que a salinidade dos mesmos poderá estar associada à salinidade das formações geológicas da área periférica do perímetro de rega.

Os *Fluissolos* do Vale do Cavaco apresentam características físicas e químicas muito variadas, dado que apresentam textura e teores de matéria orgânica muito diferenciados. Variando a textura de grosseira (47,9%) a mediana (50,0%) e fina (2,1%), ocorrerá naturalmente uma forte variação na capacidade de retenção e disponibilidade de nutrientes e

de água. Por sua vez, os teores de carbono orgânico nos horizontes superficiais dos solos são maioritariamente (80,8%) inferiores a 1%, o que concorda com os dados da Carta de Solos do Distrito de Benguela (CEPT, 1981), na qual se constata que cerca de 97% dos horizontes superficiais dos solos da área litoral do Distrito (árida) apresentam um teor de carbono orgânico inferior a 1%; além disso, a concentração de carbono orgânico determinada nos horizontes superficiais dos solos da área árida a semiárida da Província do Namibe também é generalizadamente inferior a 1% (César, 2014). O baixo teor de carbono orgânico nos solos da área de estudo deverá atribuir-se à aridez da área e à baixa produtividade primária, característica de tais ambientes (Wambeke, 1991). Aliás, a quantidade de carbono orgânico nos solos das áreas das regiões áridas e semi-áridas, que representam 45% da área terrestre, apenas representa 16% do total global de carbono orgânico acumulado no solo (Nosetto *et al.* 2006). Os baixos teores de carbono orgânico observados deverão afectar negativamente a produtividade das plantas, dado o seu efeito na estrutura e na disponibilidade de água e nutrientes para as plantas (Houghton *et al.*, 1999; Yoo *et al.*, 2006).

O baixo teor de carbono orgânico também se pode atribuir, em parte, à predominância de texturas grosseiras e ao sistema de uso dos solos que tem sido praticado. O teor de carbono orgânico, em igualdade de outras circunstâncias, depende do sistema de uso e gestão do solo - sistema e frequência de mobilização do solo, sistemas culturais, rotação de culturas, métodos e práticas de rega, adição ou não de matéria orgânica e de fertilizantes (Prasad & Power, 1997; White, 2009). De facto, o teor de carbono orgânico nos horizontes superficiais das áreas cultivadas é, em cerca de 75% dos casos, inferior a 1%, ao passo que nas áreas abandonadas essa proporção aumenta para 90%. Este padrão poderá dever-se a diferente retorno de resíduos orgânicos ao solo nas áreas cultivadas, nomeadamente quando é praticada a rega; a escassez ou inexistência de resíduos nas áreas abandonadas e não regadas (ver Figura 11 B, Capítulo 2) determinará condições para menor acumulação de carbono orgânico no solo. Além disso, a partir dados relatados por Diniz (1974), considera-se que terá havido perda acentuada de carbono orgânico durante as últimas décadas, pois, no presente estudo, 80,8 % dos horizontes superficiais dos solos apresentam teor de carbono orgânico inferior a 1 %, ao passo que no estudo referido a percentagem era apenas de 28,6%. Esta possível redução do teor de carbono orgânico poderá dever-se, entre outras causas, ao diferente período de utilização do solo, ao abandono dos terrenos e a diferentes sistemas de gestão de solos e de resíduos orgânicos e à produtividade das culturas.

A textura dos solos determina o desenvolvimento das culturas em regadio, pois

condiciona a drenagem interna, a retenção de água e nutrientes e o sistema e práticas de rega (Doorenhos & Kassam, 1988). Dada a predominância da textura grosseira e o baixo teor de carbono orgânico, a generalidade dos horizontes superficiais dos solos (cerca de 73%) do perímetro do Vale do Cavaco apresenta capacidade de troca catiónica inferior a $12 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; além disso, cerca de 19% apresentam um valor inferior a $6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Assim, uma proporção apreciável dos solos da área estudada apresenta baixa capacidade de retenção de catiões e elevada susceptibilidade à lixiviação, podendo desenvolver deficiências de potássio, magnésio e outros catiões, e apresentará baixa capacidade tamponizante (Sparks, 2003; Ketterings *et al.*, 2007). A representatividade de horizontes superficiais com capacidade de troca inferior a 12 e a $6 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (43,5 e 13,0%, respectivamente), há cerca de 40 anos (Diniz 1974) era menor do que a constatada no presente estudo, sugerindo a influência da possível redução do teor do carbono orgânico.

A compacidade do horizonte superficial dos solos do perímetro do Vale do Cavaco é muito diferenciada, variando de mínima (19,2%) a grande e muito grande (30,8%), sendo a representatividade da última ainda mais acentuada nas camadas subsuperficiais (46,1%). A compacidade mais elevada é mais frequente nas áreas agricultadas (37,6%) do que nas abandonadas (30,0%), como observado aquando da abertura de perfis, pela dificuldade de escavação. A frequência de compacidade grande a muito grande no presente estudo difere da referida por Diniz (1974) para os horizontes superficiais (8,7%) e subsuperficiais (13,7%), sugerindo um agravamento da compacidade durante as últimas décadas devido ao sistema às práticas de uso dos solos. Dada a variabilidade do teor de carbono orgânico, da textura e do tipo de minerais da argila, bem como da compacidade dos solos estudados, é de esperar uma grande diferenciação de comportamento dos mesmos e que é necessário considerar na gestão dos solos das diferentes áreas agrícolas quanto ao cultivo, à aplicação de fertilizantes, à rega e às práticas culturais.

5.2. SALINIDADE

Os solos do perímetro do Vale do Cavaco apresentam grande variabilidade quanto ao grau de salinidade. Os resultados do presente estudo mostram que predominam largamente (96,2%) os horizontes ou camadas com condutividade eléctrica inferior a 15 dS m^{-1} ou seja solos que não apresentam um horizonte sálico, típico dos *Solonchacks* ou Solos Salinos. A maior proporção dos horizontes (48,7%) mostra condutividade eléctrica inferior a 2 dS m^{-1} ,

enquanto uma proporção pequena mostra condutividade entre 2 e 4 dS m⁻¹ (19,2%), uma proporção relativamente maior mostra condutividade entre 4 e 8 dS m⁻¹ (25,6%); apenas uma proporção muito pequena dos horizontes ou camadas dos solos mostra condutividade entre 8 e 15 dS m⁻¹ (2,6%). Este padrão é comparável com os resultados relatados por Diniz (1974), que também mostram uma larguíssima proporção de horizontes e camadas (92,1%) com condutividade inferior a 15 dS m⁻¹, envolvendo uma elevada proporção (68,3%) com condutividade inferior a 2 dSm⁻¹, uma proporção pequena (12,7%) com condutividade entre 4 e 8 dSm⁻¹ e uma proporção relativamente pequena (11,1%) com condutividade entre 2 e 4 dSm⁻¹. Apesar dessa aparente semelhança, a proporção dos horizontes ou camadas dos solos no presente estudo com condutividade menor do que 2 dS m⁻¹ (48,7%) é inferior à obtida por Diniz (1974) (68,3%, Figura 30), ao passo que a proporção dos valores entre 2 e 4 dS m⁻¹ e entre 4 e 8 dS m⁻¹ (19,2 e 25,6%, respectivamente), sugerindo que terá havido aumento da representatividade dessas classes de condutividade, dado que são cerca do dobro das relatadas no estudo de Diniz (1974) (11,1% e 12,7%, respectivamente).

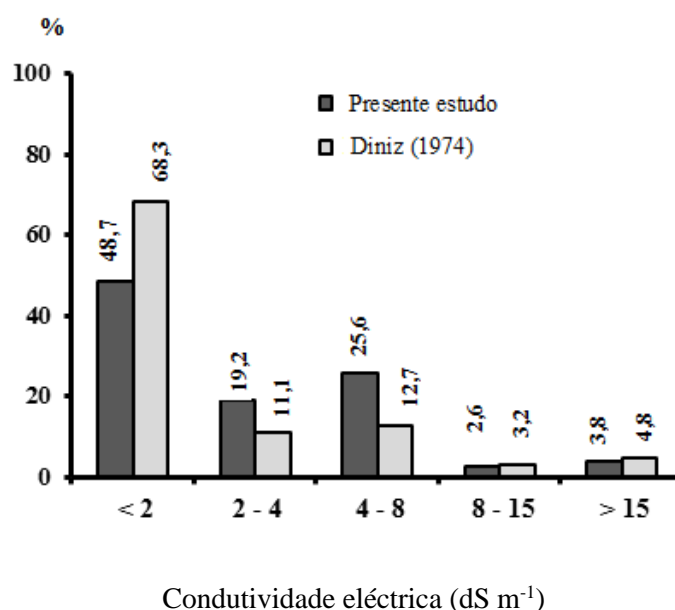


Figura 30. Proporção de classes de condutividade eléctrica no extracto da pasta de saturação do solo observada no presente estudo e no de Diniz (1974).

O possível agravamento da salinidade nos solos do Vale do Cavaco está também em sintonia com a distribuição das diferentes classes de salinidade com a profundidade do solo. De facto, no presente estudo verificou-se que a proporção da classe de condutividade inferior

a 2 dS m^{-1} aumenta sucessivamente dos horizontes superficiais (38,5%) para as camadas mais profundas (57,7%), ao passo que tendência contrária se verifica para as classes de condutividade entre 2 a 4 dS m^{-1} (23,1 e 15,4%, respectivamente) e entre 4 a 8 dS m^{-1} (30,8 e 19,2%, respectivamente). No estudo de Diniz (1974), o padrão é o oposto, nomeadamente para as classes de salinidade de inferior a 2 e entre 2 a 4 dS m^{-1} .

A evolução do grau de salinidade não pode ser dissociada do historial do uso do solo. Com efeito, no presente estudo, a proporção de casos de condutividade igual e inferior a 4 dS m^{-1} nas diferentes profundidades dos solos cultivados (81,2 a 87,5%) não difere substancialmente daquela que pode ser extraída do estudo de Diniz (1974): entre 80 a 100% (Figura 30). Tal padrão indica que nas áreas cultivadas (ou, seja, regadas) não terá havido agravamento do grau de salinidade do solo. Aliás, a água de rega em 60% dos casos não apresentava condutividade que constituísse qualquer restrição de uso ou risco de salinização (igual ou inferior a $0,75 \text{ dS m}^{-1}$) e apenas em 30,0% dos casos mostrava restrições ligeiras a moderadas ($0,75$ a $2,25 \text{ dS m}^{-1}$); apenas 10,0% apresentava, segundo o critério de Ayers & Westcot (1985), severas restrições de utilização na rega (condutividade $> 2,25 \text{ dS m}^{-1}$), nomeadamente quando a drenagem do solo não é adequada e não são consideradas as devidas precauções na gestão da rega.

Embora o volume de dados respeitantes às características da água de rega não seja suficientemente representativo e abrangente, as características das águas de rega consideradas no presente estudo até sugerem alguma melhoria relativamente às características relatadas no estudo de Marques (1967), em que apenas 33% das amostras mostrava condutividade inferior a $0,75 \text{ dS m}^{-1}$, ao passo que 23% apresentavam condutividade superior a $2,25 \text{ dS m}^{-1}$.

Apesar de tudo, os resultados do presente estudo também mostram que a rega com água de qualidade inadequada conduz a condições de salinidade dos solos que os torna impróprios para as culturas. Tal é o caso, por exemplo, do solo PS11 (ver Figura 25) localizado na zona central do perímetro de rega que apresentava condutividade entre 17,7 e $52,03 \text{ dS m}^{-1}$, sendo a condutividade da água da respectiva estação de captação (VCE8, Figura 30) da ordem de $2,31 \text{ dS m}^{-1}$. Também, o solo PS3, localizado na proximidade da linha de costa, regado a partir da captação VCE3 com água de condutividade entre 2,44 e $2,93 \text{ dS m}^{-1}$, apresentava condutividade no extracto de saturação entre 1,22 e $6,0 \text{ dS m}^{-1}$. Finalmente, o solo PS10 (Figura 25), localizado também na zona central do perímetro de rega, regado a partir da água da estação de captação VCE7 (Figura 30) com condutividade entre 0,55 e 0,69

dS m⁻¹ de qualidade relativamente melhor do que das estações de captação já referidas, mais com limitações de utilização sem moderada lixiviação, apresentava condutividade no extracto de saturação entre valores inferiores a 2 e 6,0 dS m⁻¹.

Ao contrário do que foi observado nas áreas cultivadas (Figura 31A), os solos das áreas consideradas abandonadas ou não cultivadas apresentavam uma proporção de casos com condutividade inferior a 4 dS m⁻¹ (30 a 60%, das camadas superficiais para as mais profundas) bastante diferente da obtida a partir do estudo de Diniz (1974) (Figura 31B): entre 75 a 50%, das camadas superficiais para as mais profundas. Tal diferença sugere que nas áreas abandonadas terá ocorrido agravamento da salinidade durante as últimas décadas, nomeadamente nas camadas superficiais do solo. Para tal terá contribuído a aridez do Vale do Cavaco – pouco favorável à lixiviação de sais solúveis no solo – e a cessação da mobilização de solo e da rega, o que reduz a lixiviação dos sais solúveis no solo (Scianna, 2002; Robins, 2004; Wild *et al.*, 2014), ou, ainda, o sistema de uso dos solos e a qualidade da água de rega utilizada (e o grau de salinidade atingido) quando eram cultivados. Admite-se, ainda, tal como refere Diniz (1974), a propósito dos riscos de salinização no Vale, que o escoamento de águas salinas provenientes dos morros (desnudados) circundantes do Vale poderá ter contribuído para o padrão observado. Porém, no estudo de Diniz (1974) não é indicada a localização dos solos estudados, assim como também é insuficiente a informação sobre a frequência de amostragens nas diversas áreas, tornando-se demasiado arrojado estabelecer uma comparação directa entre os resultados dos dois estudos.

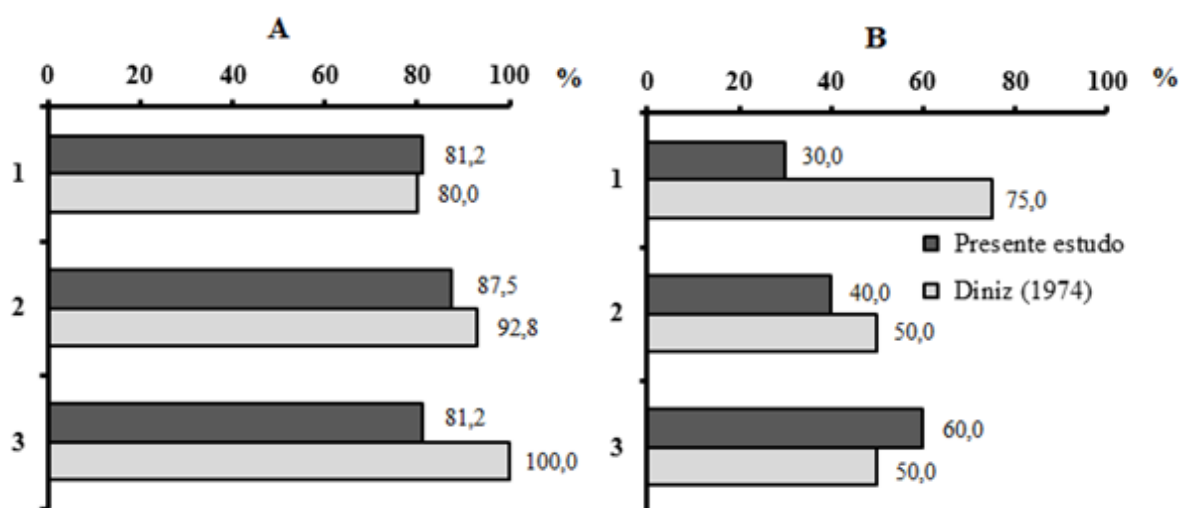


Figura 31. Proporção da classe de condutividade eléctrica inferior a 4 dS m⁻¹ nas camadas dos solos das áreas cultivadas (A) e das áreas não cultivadas (B) no presente estudo e no de Diniz (1974). **1** - Camadas superficiais; **2** - camadas subsuperficiais; **3** - camadas profundas.

Observou-se que os solos com condutividade inferior ou superior a 4 dS m^{-1} ocorrem tanto nas áreas próximas da linha da costa como nas áreas periféricas e central do perímetro de rega ou na zona de montante do Vale, enquanto os solos com condutividade superior ocorrem somente nas áreas próximas da linha da costa, nas áreas periféricas e central do perímetro de rega (Figura 30). Esta situação difere dos resultados relatados no estudo de Diniz (1974), em que a elevada salinidade estava restringida principalmente às zonas periféricas do perímetro de rega. Tal diferença sugere que terá ocorrido uma expansão da elevada salinidade nos solos do perímetro de rega sem ter atingido a zona de montante do Vale do Cavaco.

O facto da elevada salinidade não ter atingido a zona montante do Vale pode ser explicado pela forma em que se desenvolveu e expandiu a agricultura de regadio no perímetro do Vale do Cavaco e pela influência das águas subterrâneas da bacia hidrográfica que correm da zona de montante do vale para a zona mais baixa, próxima da costa), que a montante do vale mostrou condutividade inferior a $0,75 \text{ dS m}^{-1}$ que não constituiu risco de salinização do solo. A agricultura de regadio terá começado a ser praticada primeiramente na zona da linha da costa, progredindo ao longo de anos para o centro e mais tarde até a montante do Vale.

5.3. SODICIDADE

Os resultados do presente estudo sugerem que terá havido um agravamento da sodicidade nos solos do perímetro do Vale do Cavaco nas últimas décadas, dado que a proporção de camadas dos solos com percentagem de sódio de troca superior a 15% (52,6%) é muito superior à que se infere (1,6%) do estudo de Diniz (1974) (Figura 32). Também a proporção de camadas com percentagem de sódio entre 6 e 15% se mostrou mais frequente no presente estudo (43,4%) do que no de Diniz (1974), apenas 14,3%. A tendência de agravamento da sodicidade está também expressa pela diferença da amplitude da percentagem de sódio de troca (3,02-66,3%) no presente estudo e entre 0,49-34,4% no de Diniz (1974).

A proporção de camadas com percentagem de sódio de troca inferior a 15% tem mais representatividade nas áreas cultivadas (62,5 a 46,7%, dos horizontes superficiais para as camadas profundas) do que as áreas abandonadas (50,0 a 33,3%, na mesma sequência de profundidade), indicando maior agravamento do grau de sodicidade nos solos das áreas abandonadas (Figura 33); além disso, a sodização parece aumentar de intensidade com a profundidade do solo. Este padrão difere bastante do extraído do estudo de Diniz (1974) no caso das áreas cultivadas, dado que este autor não relata qualquer caso de camada com

percentagem de sódio de troca superior a 15%; a mesma tendência se constata para as áreas abandonadas ou não agricultadas, excepto nas camadas mais profundas. Nestas circunstâncias parece ter havido uma acentuação da sodização nos solos do perímetro do Vale do Cavaco, desde da década de 60 até ao presente, com maior intensidade nas camadas mais profundas. O agravamento da sodicidade também parece associado ao sistema de uso ou de cobertura dos solos, dado que a diferença da proporção de camadas dos solos com percentagem de sódio inferior a 15% nas áreas abandonadas ou não cultivadas relativamente à proporção obtida no estudo de Diniz (1974) é maior do que a referente às áreas cultivadas.

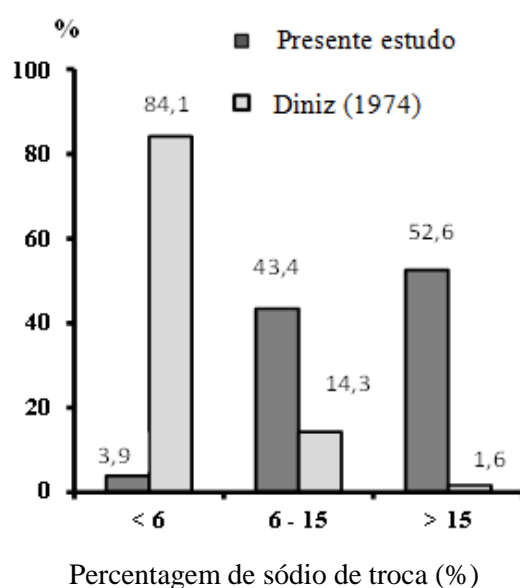


Figura 32. Proporção de classes de percentagem de sódio de troca (%) nas camadas dos solos do perímetro de rega do Vale do Cavaco, no presente estudo e no de Diniz (1974).

Os solos estudados com percentagem de sódio de troca igual e superior a 15% mostram forte incidência na zona mais próxima da linha da costa, nas zonas periféricas do perímetro de rega e na zona de montante do Vale em relação ao centro do perímetro de rega, onde predomina valores de percentagem de sódio de troca entre 6 e 15%.

A sodização dos solos do perímetro do Vale do Cavaco poderia em princípio atribuir-se à qualidade da água de rega. Porém, a razão de adsorção de sódio da água utilizada na rega das áreas cultivadas variou durante o estudo entre 0,98 e 10,5, sendo pouco diferente e mais favorável do que a relatada por Marques (1967) em estudo realizado há mais de quatro décadas (1-14). Tal sugere que não haveria aparentemente razões para valores tão elevados de sódio de troca (Wilcox, 1955). De facto, a condutividade da água de rega no período de estudo (0,17-2,93 dS m⁻¹) apresentou uma amplitude menor do que a água de rega estudada

por Marques (1967): condutividade de 0,34 a 6,2 dS m⁻¹; assim, as condições para a sodização do solo não se poderão atribuir à degradação da qualidade da água. Aliás, a água com condutividade inferior a 0,75 dS m⁻¹ aumentou de 33,3%, no estudo de Marques (1967), para 57,5% no presente estudo, enquanto a proporção de água com razão de adsorção de sódio inferior 10 se manteve semelhantes (cerca de 97%).

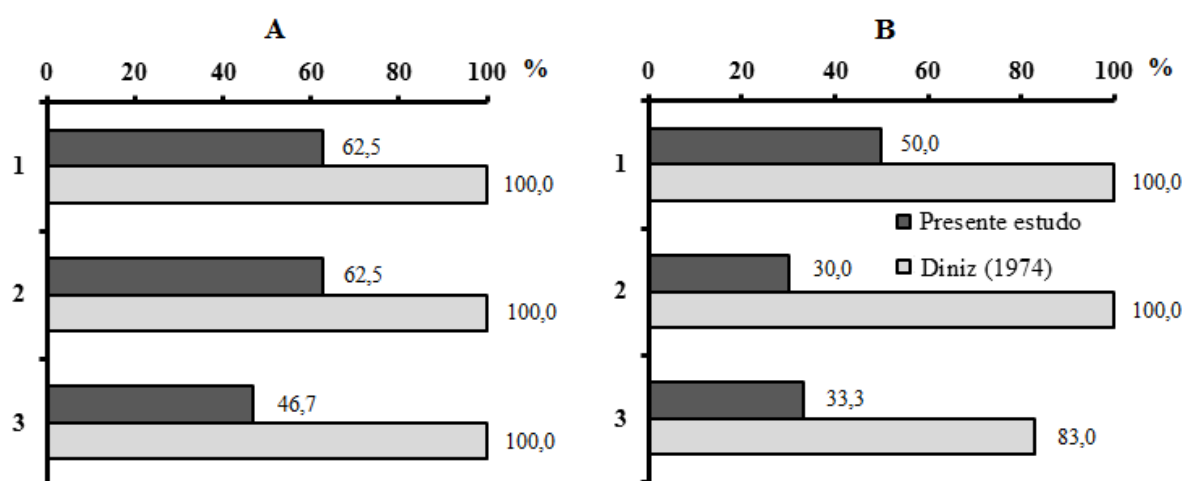


Figura 33. Proporção das classes de percentagem de sódio de troca inferior a 15% nas camadas dos solos das áreas cultivadas (A) e nas áreas não cultivadas (B) no presente estudo e no estudo de Diniz (1974). **1** - camadas superficiais; **2** - camadas subsuperficiais; **3** - camadas profundas.

As condições de sodização podem associar-se a outros factores como: o aumento do pH, a variação da concentração dos bicarbonatos, correlacionada positiva e significativamente com a razão de adsorção de sódio, a redução da infiltração e lixiviação dos sais nos solos, assim como as condições de rega e de gestão dos solos. O pH da água durante o estudo (7,16 - 8,5) aumentou em relação ao determinado (6,9 a 7,4) por Marques (1967); paralelamente, a concentração de bicarbonatos também aumentou ligeiramente (2,8-10,2 mmol_c L⁻¹) em relação ao estudo de Marques (1967): 2,7 - 8,4 mmol_c L⁻¹. Dever-se-á considerar que o acréscimo da proporção relativa de sódio na solução do solo e, por consequência, no complexo de troca está também associada à precipitação de compostos de cálcio e magnésio, pela sua concentração por evaporação ou absorção de água pelas plantas e por terem sido excedidos os limites de solubilidade do sulfato e carbonato de cálcio e carbonato de magnésio (Richards *et al.*, 1954; Ayers & Westcot, 1985).

A redução da infiltração da água de rega nos solos do perímetro do Vale do Cavaco terá contribuído para as condições de sodização dos solos durante o período estudado, a qual se terá agravado com o aumento da percentagem de sódio de troca (CWQG, 1987). Ainda, o

aumento do grau de compacidade nos horizontes superficiais e subsuperficiais anteriormente referido sugere também que medidas adequadas na gestão dos solos não foram adoptadas, o que terá também contribuído para a sodização dos solos. A sodização dos solos também estará associada à condução de rega ao longo dos anos em que se vem desenvolvendo o regadio no Vale do cavaco (NEH, 1993 e 1997) A mais acentuada sodização nos solos das áreas não cultivadas em relação às áreas cultivadas poderá ser explicado pela cessação da mobilização de solo e da actividade de rega, pela redução da lixiviação dos sais solúveis e pela redução da cobertura vegetal (Scianna, 2002), tal como foi explicitado para as condições de agravamento da salinidade nas mesmas áreas. Além disso, a acumulação do sódio no solo prende-se com a quantidade vinculada pela água de rega e pelo facto de ser um elemento pouco absorvido pela maioria das plantas.

5.4. DEGRADAÇÃO DOS SOLOS E RISCOS PARA AS CULTURAS

Como se disse, os resultados do presente estudo comparativamente aos relatados por Diniz (1974) sugerem que a degradação por salinização aumentou no conjunto das camadas dos solos do perímetro de rega do vale do Cavaco, nomeadamente nas áreas não agricultadas. Embora a proporção de camadas com condutividade superior a 8 dS m^{-1} e a 15 dS m^{-1} seja apenas 5,2 e 3,9% (Quadro 22), a proporção dos solos com condutividade eléctrica entre 2 e 4 dS m^{-1} aumentou de 11,1 para 19,2% e a dos solos com condutividade entre 4 e 8 dS m^{-1} aumentou de 12,7 para 25,6%. Apesar da salinização não atingir níveis extremos, a proporção das camadas com condutividade superior a 4 dS m^{-1} atinge 30,1% (Quadro 22).

A degradação dos solos do perímetro de rega por sodização aparenta ser mais acentuada do que a salinização, pois mais de metade (52,6%) das camadas dos solos do Vale do Cavaco tem percentagem de sódio de troca igual ou superior a 15% (Quadro 22), ao passo que nos finais dos anos sessenta (Diniz, 1974) essa proporção era apenas de 1,6%. No entanto, uma proporção de 24,9% dos horizontes e camadas dos solos apresenta simultaneamente carácter sódico e condutividade eléctrica igual ou superior a 4 dS m^{-1} , indicando que a concentração de sais poderá ser suficiente para evitar a desfloculação das argilas e mitigar o efeito da sodização, assim favorecer a infiltração da água no solo e por consequência o crescimento das plantas; porém 27,6% das camadas dos solos estudados são sódicos e apresentam uma condutividade inferior a 4 dS m^{-1} , ocasionando condições para a

dispersão dos colóides do solo e a redução do movimento da água e do crescimento das plantas. É importante referir que 39,5% das camadas dos solos do Vale do Cavaco apresentam percentagem de sódio de troca entre 6 e 15% e condutividade eléctrica inferior a 4 dS m⁻¹, que de acordo com alguns autores (Levy & Mamedov, 2002; Levy *et al.*, 2003) conduzem a comportamentos típicos de solos sódicos de efeitos adversos na estabilidade dos agregados especialmente nos solos de textura fina,

Quadro 20. Diferenciação da condutividade eléctrica (CE) do extracto de saturação e da percentagem de saturação de sódio (PST) das camadas dos solos do perímetro de rega incluindo os que não apresentaram sais na pesquisa (Presente estudo).

PST (%)	CE (dS m ⁻¹)				
	< 2	2 - 4	4 - 8	8 -15	> 15
< 6	0	2 (2,6)	1(1,3)	0	0
6 – 15	23 (30,3)	7 (9,2)	3 (3,9)	0	0
> 15	15 (19,7)	6 (7,9)	15 (19,7)	1 (1,3)	3 (3,9)

Os valores entre parêntesis expressam percentagens.

O agravamento da sodização tem consequências no aumento do pH, na degradação da estrutura e redução da porosidade do solo e, na redução da infiltração e da condutividade hidráulica, na formação de crostas na superfície e na susceptibilidade à compactação, o que origina condições adversas para as plantas quanto à absorção da água, arejamento, a disponibilidade dos nutrientes e desenvolvimento do sistema radicular (Richards *et al.*, 1954; Rhoades, 1991; Sparks, 2003; WRB, 2006).

Apesar de ocorrer no perímetro de rega uma fraca representação de solos com condutividade eléctrica superior a 15 dS m⁻¹, em que somente as plantas muito tolerantes aos sais solúveis podem ter crescimentos satisfatórios (Richards *et al.*, 1954), os solos com condutividade eléctrica entre 2 e 15 dS m⁻¹ podem apresentar condições inadequadas para as plantas consoante a sua sensibilidade à salinidade (Richards *et al.*, 1954; Rhoades, 1991; Sparks, 2003). Com efeito, solos com condutividade entre 2 e 4 dS m⁻¹ (19,2%) afectarão o crescimento das plantas muito sensíveis e sensíveis; solos com condutividade entre 4 e 8 dS m⁻¹ (25,6%) o crescimento da maioria das plantas; mas 2,6% dos solos com condutividade entre 8 e 15 dS m⁻¹ apenas as culturas tolerantes aos sais podem ter rendimentos satisfatórios. Além disso, o crescimento das plantas pode ser afectado por toxicidade de cloretos

(Bernstein, 1965; Rhoades, 1991; Horneck *et al.*, 2011), pois em 13,7% dos solos a concentração de cloretos era superior a 10 mmol_c L⁻¹.

A percentagem de sódio de troca dos solos do perímetro de rega indicam, segundo a classificação da tolerância de várias plantas ao sódio de troca (Brower, 1959; Pearson, 1960; James *et al* 1982), que as plantas podem ser afectadas por toxicidade do ião sódio, pois percentagem de sódio de troca entre 2 e 20% (59,2%) afectam as plantas muito sensíveis e sensíveis e percentagem, entre 20 e 60% (38,2%) afectam as plantas moderadamente sensíveis e tolerantes; finalmente, percentagem de sódio de troca superior a 60% (2,6%) afecta as plantas muito tolerantes. A elevada proporção de sódio em relação a proporção de cálcio mais magnésio pode resultar em elevada absorção de sódio e menor absorção de cálcio e/ou de magnésio pelas plantas além de outros desequilíbrios nutricionais (deficiências de K, Zn, Cu e Mn) e efeitos fisiológicos adversos nas plantas (François & Maas, 1999; Levy, 2012). Os solos com textura grosseira devido aos grandes espaços porosos podem suportar maior salinidade da água de rega, pois facilitam a remoção de sais solúveis por lixiviação (Costa, 2011; NRCS, 2014), ao passo que os de textura mediana e principalmente fina, mais favoráveis para a retenção de água e nutrientes, suportam menos a salinidade do que os solos de textura grosseira (Costa, 2011; NRCS, 2014).

O baixo teor de carbono orgânico dos solos do Vale do Cavaco, em geral <1,0%, determina uma inadequada estabilidade estrutural (Halzelton & Murphy, 2007). A compactidade grande a muito grande nas camadas superficiais e subsuperficiais indica que, para além de serem difíceis de trabalhar, restringem o volume do solo que as raízes podem explorar para absorver água e nutrientes e desenvolver o sistema radical (FAO, 2000). A baixa fertilidade dos solos do Vale do Cavaco pode ser associada à sodização devido ao elevado valor de pH (reacção fortemente alcalina) que limita a disponibilidade de nutrientes para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Halzelton & Murphy, 2007; Horneck *et al.* 2011) concentração de fósforo de potássio, de magnésio.

5.5. GESTÃO DA ÁGUA DE REGA COM VISTA À PREVENÇÃO DA DEGRADAÇÃO DOS SOLOS E DA ÁGUA

Embora no presente estudo não se tenham efectuado observações específicas sobre a qualidade da rega praticada, pode-se deduzir que, de uma forma geral, se esteja em presença

de uma aplicação de água feita ora seguindo os processos tradicionais da região, ora por improviso de agricultores provenientes de regiões onde não predominava a agricultura de regadio. Nestas condições a água de rega é aplicada com baixas eficiências, muitas das vezes com um excesso de água, que se infiltra para além da zona de absorção radicular, transportando sais e fertilizantes para os aquíferos, afectando assim a sua qualidade. Por outro lado, uma pobre uniformidade da rega implica que numa mesma parcela se situem zonas com défice de humidade e outras em que se verifica um excesso de água de rega, com os inconvenientes apontados anteriormente.

Sendo a rega tradicional na região feita, na sua maioria, através de pequenos sulcos não nivelados ou de pequenos canteiros, as dotações são naturalmente abundantes e pouco controladas. Em solos de textura fina tais dotações podem-se mostrar adequadas, contudo em solos de textura grosseira (47,9 % das camadas dos solos estudados) a aplicação de água por estes processos de rega mostra-se pouco recomendável, dada a permeabilidade dos mesmos, com inerentes fracas eficiências e eventual contaminação dos aquíferos. Contudo, atendendo a que estes princípios gerais que podem por em causa uma rega de qualidade, no caso presente em que se identificam manchas de solos com camadas superficiais com elevada compacidade, áreas onde se detectam problemas de salinidade e de sodicidade, haverá que tomar decisões específicas de gestão da rega para cada uma dessas situações. Haverá ainda que ter presente a necessidade de, em muitas das situações, aplicar regas de lixiviação ou de regas com fracção de lixiviação, tecnicamente recomendáveis, mas de difícil concretização dado o nível de conhecimentos e a sensibilidade dos regantes para esta questão.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

A água de rega analisada no perímetro de rega do Vale do Cavaco durante o período de estudo apresentou na generalidade boa qualidade quanto à salinidade e à razão de adsorção de sódio e, embora em alguns locais (10%) apresente limitações severas, não mostrou aparentemente modificações relativamente ao estado de há cinco décadas.

Cerca de um terço das camadas dos solos estudados no perímetro de rega apresenta condutividade eléctrica (superior a 4 dS m^{-1}) que afecta a produtividade das plantas sensíveis, sugerindo um agravamento da salinidade relativamente à situação relatada há 44 anos, principalmente nas áreas abandonadas e não cultivadas.

Um pouco mais de metade das camadas dos solos apresenta percentagem de sódio no complexo de troca (superior a 15%) inadequada para a estabilidade física do solo, reflectindo uma forte expansão da sodicidade nos solos do perímetro de rega comparativamente à situação observada há cerca de cinco décadas.

Além das características associadas à salinização e à sodização, os solos do perímetro de rega – com grande variabilidade de constituição e comportamento – apresentam na generalidade baixo teor de carbono orgânico e camadas superficiais e subsuperficiais com grande compacidade que poderá estar associada à sodicidade exibida pelos solos.

O agravamento da afectação dos solos quanto à salinidade e principalmente à sodicidade exige a realização de um estudo mais detalhado, baseado numa maior densidade de amostragem dos solos (e da água dos aquíferos utilizados na rega), a fim de estabelecer uma situação de referência das características dos solos.

Para prevenir, controlar e desagravar a salinização e a sodização dos solos e da água de rega captada do aquífero no perímetro de rega do Vale do Cavaco é necessário a monitorização periódica da qualidade da água de rega e das características dos solos quanto ao nível da salinidade e sodicidade para fundamentar as decisões quanto à gestão dos solos, da água de rega e das culturas.

A gestão dos solos e da água de rega no perímetro de rega deve ser realizada de modo a assegurar a prevenção, o controlo e a minimização da salinização e sodização, desenvolvendo sistemas de cultivo e de rega adequados. Ou, seja, é necessário identificar e

implementar sistemas de rega que propiciem um uso eficiente da água e minimizem a salinização dos solos e da água, favorecendo o desagravo da salinização. Para tal haverá que equacionar a aplicação de água de rega com fracção adicional de lixiviação dos sais solúveis.

Com vista a assegurar uma produtividade satisfatória das plantas enquanto a recuperação dos solos que resultem tipificados com salinidade e sodicidade não ocorrem ou ainda enquanto ocorrem é necessário a selecção e o cultivo de espécies e variedades de plantas tolerantes aos sais solúveis.

É necessário desenvolver medidas de adaptação e de mitigação da escassez de disponibilidade de água, como o abaixamento do nível freático e a seca periódica que ocorre na região do Vale do Cavaco, e das alterações climáticas, através da racionalização do uso da água e da gestão dos recursos hídricos disponíveis.

Para a prevenção e controlo da salinização e da sodização dos solos e da água de rega no perímetro de rega do Vale do Cavaco, e tendo como missão tipificar a situação de referência do estado dos solos e instituir a monitorização da qualidade da água de rega e das características dos solos, é indispensável o reforço da capacidade técnica e científica do Gabinete de Aproveitamento Hidroagrícola dos Vales de Cavaco e Catumbela e da Estação Experimental do Instituto de Investigação Agronómica no Vale do Cavaco.

É também indispensável capacitar os agricultores e a associação dos agricultores do Vale do Cavaco, através da demonstração “*in situ*” de boas práticas culturais, de técnicas de rega para o uso eficiente da água e da selecção de espécies e variedades de culturas, tendo em vista a prevenção, o controlo da salinização e sodização e, em última análise, a sustentabilidade dos sistemas agrícolas do Vale do Cavaco.

BIBLIOGRAFIA

Abrol I. P. (1982) Technology of chemical, physical and biological amelioration of deteriorated soils. *Presented at Panel of Experts on Amelioration and Development of Deteriorated Soils in Egypt*, 2 – 6 May 1982, Cairo.

Abrol I. P.; Yadav, J. S. P. and Massoud, F. I. (1988) Salt – Affected Soils and their Management. Soil Resources, Management and Conservation Service FAO Land and Water Development Division. Food and Agriculture Organization of The United. *FAO Soils Bulletin* 39. 131 p.

Almeida, A. F. (1962) Interesse económico e social da transformação do Vale do Cavaco em produtor de banana para exportação e industrialização. *Dissertação de concurso para promoção a Engenheiro Chefe dos serviços de agricultura e florestas do quadro comum do Ultramar*. Benguela. 50 p.

Almeida, A. F. (1963) Da cultura da batata no Vale do Cavaco. Direcção de Agricultura e Florestas – *Instituto de Investigação Agronómica de Angola*. 4^as Jornadas Silvo-Agronómicas. *Angola* Vol. 3 p 25 – 30.

Almeida, A. F. (1964) Possibilidade de transformação do Vale do Cavaco em produtor de banana para importação e industrialização. Direcção dos Serviços de Agricultura e Florestas. *Agronomia Angola* N° 19. p 79 – 105.

Almeida, A. F. (1965) O Vale do Cavaco como Centro de Produtor de batatas. *Gazeta Agrícola de Angola* – X – 9 – 1968, p 487.

AN (1994) Lei das privatizações (Lei n.º 10/94, de 31 de Agosto). Assembleia Nacional. *Diário da República I Serie* n° 38. Luanda. 4 p.

Andrade, F. S. C. (1970) A produção de banana no Vale do Cavaco: realidade e perspectivas. Comunicação à III Reunião para o Fomento Frutícola no Ultramar. *Gazeta Agrícola*, N° 10 – Vol. XV, p. 689 – 705.

Andrade, F. S. C. (1971) O preço de custo da banana no Vale do Cavaco (Benguela). Direcção Provincial dos Serviços de Agricultura e Florestas. *Agronomia Angolana* N° 31. p 67 – 78.

ANIP (2012) Dados socioeconómicos 2013. *Agência Nacional de Investimentos Privados. Portal*. <http://www.anip.co.ao/index.php?pag=conteudos&id=50>

Antunes, L. C. (1961) O problema da rega no litoral angolano. *Gazeta Agrícola de Angola*. p 656 – 659.

Arguez, A. & Vose, R. (2011) The Definition of the Standard WMO Climate Normal: The Key to Deriving Alternative Climate Normals. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 92 p 699 – 704.

Ayers, R. S. & Westcot, D. W. (1985) *Water quality for agriculture*. Irrigation and drainage paper 29 Rev. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 174 p.

Balba, A. M. (1995) *Management of problem soils in arid ecosystems*. CRC Press, Inc. USA. 274 p.

Barbosa, L. A. G. (2009) *Carta fitogeográfica de Angola*. Instituto de Investigação Científica de Angola, Luanda – xxvi, 323 p.

Bernstein, L. (1965) Salt tolerance of fruit crops. *USDA Agric. Information Bulletin* 292. 8 p.

Boko, M.; Niang, I.; Nyong, A.; Vogel, C.; Githeko, A.; Medany, M.; Osman–Elasha, B.; Tabo, R. and Yanda, P. (2007) África. Climate change 2007: Impacts, Adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P.; Linden, V. and Hanson, C. E. (Eds) *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge UK. p 433 – 467.

Brady, C. N. & Weil, R. R. (2014) *The nature and proprieties of soils*. Fourteenth edition, Pearson New International Edition, USA. 1045 p.

Brouwer, C. A.; Goffeau, A. & Heibloem, M. (1985) *Irrigation water management: training manual No. 1 – Introduction to irrigation*. International Institute for Land Reclamation and Improvement and FAO Land and Water Development Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy. 131p

Carvalho, H. (1980) Geologia de Angola, Escala 1: 1 000 000. *Instituto Geográfico e Cadastral*. Lisboa.

CEPT (1968) *Informação preliminar acerca de normas para caracterização morfológica dos solos*. Reimpressão do original de 1961. Junta de Investigação do Ultramar. Centro de Estudos Pedologia Tropical. Lisboa. 40 p.

CEPT (1972) *Carta Gera dos Solos de Angola. 5 Distrito de Zaire e Uíge*. Centro de Estudos de Pedologia. Memória da Junta de Investigações Científica Tropical. Lisboa. p 467.

CEPT (1981) *Carta Gera dos Solos de Angola. 6 Distrito de Benguela* Centro de Estudos de Pedologia. Memória da Junta de Investigações Científica Tropical. Lisboa. p 509.

CEPT (1985) *Carta Gera dos Solos de Angola. 7 Distrito de Cuanza Sul*. Centro de Estudos de Pedologia. Memória da Junta de Investigações Científica Tropical. Lisboa. p 617.

César, J. (2014) *Avaliação das terras de pastoreio extensivo na Província do Namibe – Angola*. Tese de Doutoramento em Engenharia Agronómica. Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa. 198 p.

Chandy K.T. (Dr.) (N/d) Agricultural & Environmental Education Environment & Natural Resource Management (ENRM), Xavier Institute of Management, Bhubaneswar, Orissa, India.

Costa, J. V. B. (1951) Caracterização morfológica dos solos. Terminologia adoptada nos estudos de pedologia tropical da Junta de Investigações do Ultramar. I. Textura. Separata de Garcia de Orta, *Revista da Junta das Missões Geográficas e de Investigações do Ultramar*. Vol. I p 54 – 63.

Costa, J. B. (2011) *Caracterização e constituição do solo*. 8ª Edição. Fundação Calouste Gulbenkian. Serviço de Educação e Bolsas. 527 p.

CWQG (1987) *Canadian Water Quality Guidelines*. Council of Resource and Environment Ministers (CCREM). 1484 p.

DGADR (2012) *Normas Técnicas para a Produção Integrada de Prunóideas*. Direcção Geral da Agricultura e do Desenvolvimento Rural do Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território de Portugal (2009 e actualizadas em 2010 e 2012). Volume II, Lisboa. 252 p.

Dias, J. C. S. (1973) Acerca do aproveitamento hidroagrícola do Vale do Cavaco. *Instituto de Investigação Agronómica de Angola*. Nova Lisboa. 10 p.

Dias, J. C. S. (2012) A calagem nos solos de Angola. Dissertação aos doutorandos do Ministério da Agricultura e do Desenvolvimento Rural de Angola no Instituto Superior de Agronomia.

Diniz, A C. (1974) Os solos do Vale do Cavaco: Sua aptidão e utilização com o Regadio. *I. I. A. A. Serie Científica nº 36*. Nova Lisboa, Angola. 62 p.

Diniz, A C. (1998) *Angola o meio físico e potencialidades*. Instituto da cooperação Portuguesa (ICP), Lisboa. 189 p.

Diniz, A. C., (2006) *Caracterização mesológicas de Angola: descrição e correlação dos aspectos fisiográficos dos solos e da vegetação das zonas agrícolas Angolanas*. Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento, Lisboa, Portugal. 546 p.

Doorembos, J. & Kassam, A. W. (1988) Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO, Roma, 212 p.

Eaton, F. M. (1950) *Significance of carbonates in irrigation water*. Soil Science 69. USA p 123 – 133

FAO (2000) Manual on Integrated Soil Management and Conservation Practices. Food and Agriculture Organization of the United Nations. *FAO Land and water bulletin Volume 8*. Roma. 214 p.

Florianopolis (2009) *Manual Técnico para Coleta de Amostras de Água*. Brasil. 37 p.

Francois, L. E. and Maas, E. V. (1999). Crop response and management of salt affected soils. In: *Hand Book of Plant and Crop Stress*. (Eds.): M. Pessarakli. Marcel Dekker, Inc., New York, p 169 – 201.

Franco, E. P. C. (1993) Os regimes, térmico e de humidade, nos solos da República Popular de Angola. *Instituto de Investigação Científica Tropical*. Lisboa. 156 p.

Franco, E. P. C. & Raposo, J. A. (1999) Os solos de Angola. Distribuição, representatividade e características dos agrupamentos principais de solos definidos segundo a legenda da carta de solos do mundo (FAO/UNESCO). *Revista de Ciências Agrárias*, Vol. 22 p 39 – 49.

Franco, E. P. C. & Raposo, J. A. (2014) Carta esboço do regime térmico do solo. In: Carta generalizada dos solos de Angola – 4ª Aproximação. Instituto de Investigação Científica Tropical, CD–Rom, Lisboa.

Franco, E. P. C. & Raposo, J. A. (2014) Carta esboço do regime de humidade do solo. In: Carta generalizada dos solos de Angola – 4ª Aproximação. Instituto de Investigação Científica Tropical, CD–Rom, Lisboa.

Foster, S. & Shah, U. (2013) Aguas subterráneas y agricultura de regadío: haciendo una relación beneficiosa más sostenible. Documento de perspectiva. Global Water Partnership. *World Bank/GWP GW-MATE Strategic Overview Series SO –I*. Washington DC, USA 20 p.

Gomes, M. P. & Silva, A. A. (1962) Um novo diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo. *Garcia da Orta* 10 p 171–179.

Gorham, J. (1992) Salt tolerance of plants. *Sci. Progress Oxford* 76 p 273 – 285.

Halzelton, P. & Murphy, B. (2007) *Interpreting soil test results: What do all the number mean?* CSIRO Publishing. Pam Halzelton and NSW Department of Natural Resources. Australia 152 p.

Harter, T. (2003) Groundwater sampling and monitoring. University California. Natural Resources Conservations Service (NRCS). *Publications 8085. FWQP 11.4*. California. 7 p.

Horneck, D. A.; Sullivan, D. M.; Owen, J. S. and Hart, J. M. (2011) Soil Test Interpretation Guide. *Oregon State University, the U. S. Department of Agriculture, and Oregon counties*. USA 12 p.

Houghton, R. A.; Hackler, J. L. and Lawrence, K. T. (1999) The U. S. carbon budget: Contributions from land-use change. *Science* 285 p 574 – 578.

IGCA (1981) Mapa de Benguela. Folha Nº 251. Escala 1:100 000. Instituto de Geodesia e Cartografia de Angola. Ministério da Defesa Nacional. República de Angola.

IICT (2014) Carta hipsométrica de Angola (escala 1:1000 000). CD-ROM. *Instituto de Investigação Científica Tropical*, Lisboa.

IPCC (2013) *Clima change 2013: The physical science basis. Summary for policymakers*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment report of the Intergovernmental Panel on climate change [Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G. K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J.; Naules, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P. M. (eds) (2013)] 27 p. Cambridge University Press. Cambridge. U. K., New York, U. S. A. 1535 p.

James, D. W.; Hanks, R. J. and Jurinak, J. J. (1982) Modern Irrigated Soils. *Wiley Interscience Publication, J. Wiley & Sons*, New York, USA. p 136 – 169.

Keren, R. & Myamoto, S. (2012) Reclamation of saline, sodic, and boron-affected solis. Chapter 21. In: Wallender, W. W. & Tanji, K. K. (eds) (2012) *Agricultural salinity assessment and management*. Second edition. ASCE Manual and Report on Engineering Practice nº 71.

American Society of Civil Engineers – Environmental & Water Resources Institute. Reston, Virginia. 1094 p.

Kettering, Q.; Reidf, S. & Rao, R. (2007) Nutrient Management Spear Program. Cornell University Agronomy. Department of Crop and Soil Sciences, College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University. 2 p.

Laboski, C. (2008) Understanding salt index of fertilizers index of fertilizers. Department of Soil Science. *University of Wisconsin – Madison*. USA. 19 p.

LEI N.º 10/94, de 31 de Agosto – Lei das Privatizações, Angola.

Levy, G. J.; Mamedov, A. I. (2002) High-energy-moisture-characteristic aggregate stability as a predictor for seal formation. *Soil Science Society of America Journal*, V.66, p 1603 –1609.

Levy, G. J.; Mamedov, A. I.; Goldstein, D. (2003) Sodicity and water quality effects on slaking of aggregates from semi-arid soils. *Soil Science Society of America Journal*, V.168, p 552 – 562.

Levy, G. J. (2012) *Sodicity*. In Second edition: Huang, P. M.; Li, I. and Sumner, M. E. (Eds) Handbook of soil sciences. Resource management and environmental impacts. CRC Press Taylor & Francis Group. p 1 – 1 a 33 – 1.

Luächli, A. & Grattan, S. R. (2012) Plant responses to saline and sodic conditions. Chapter 6. In: Wallender, W. W. & Tanji, K. K. (eds) (2012) *Agricultural salinity assessment and management*. Second edition. ASCE Manual and Report on Engineering Practice n° 71. American Society of Civil Engineers – Environmental & Water Resources Institute. Reston, Virginia. 1094 p.

Maas E. V. (1984) Salt tolerance of plants. In: *The Handbook of Plant Science in Agriculture*. B. R. Christie (ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.

Marques, J. M. M. (1967) Contribuição para o estudo da hidrogeologia do Vale do Cavaco. Comunicação apresentada ao Congresso da Associação Internacional dos Hidrogeólogos – Istambul. Portugal – Província de Angola. Serviços de Geologia e Mina. *Boletim dos Serviços de Geologia e Minas de Angola* n° 16, 1967. p 5 – 9.

Milne, R. A. & Rapp, E. (1971) Soil salinity and drainage problems: causes, effects and Management. *Department of Agricultural. Canada*. 25 p.

MINAGRI (1987) Despacho n° 2/87 de 26 Janeiro, Ministério da Agricultura de Angola, Luanda.

MPA (1963) *Carta Gera dos Solos de Angola. 3 Distrito de Moçamedes*. Missão de Pedologia de Angola. Memória da Junta de Investigações do Ultramar. Lisboa. 192 p.

MPAM (1968) *Carta Gera dos Solos de Angola. 3 Distrito de Cabinda*. Missão de Pedologia de Angola e Moçambique. Memória da Junta de Investigações do Ultramar. Lisboa 227 p.

MIAA (1967). Vale do Cavaco situação actual. *Missão de inquéritos agrícolas de Angola*. 40 p.

Murphy, J. and Riley, J. P. (1962) A Modified Single Solution Method for the Determination of Phosphate in Natural Waters. *Analytica Chimica Acta*, 27, p 31 – 36.

Motsara, M. R. & Roy, R. N. (2008) *Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Fertilizer and plant nutrition Bulletin 19. Rome, 201 p.

Mouta, F. (1954) Nota explicativa do esboço geológico de Angola (1:2 000 000). *Instituto de Investigação do Ultramar*. Lisboa. 148 p.

Munsell Color Company (1954) Munsell soil color charts. *Baltimore, MD, USA*. 10 p.

NEH (1993) Irrigation Water Requirements. Chapter 2. In: *National Engineering Handbook*. Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. USA. 302 p.

NEH (1997) Irrigation Guide. In: *National Engineering Handbook*. Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. USA. 754 p.

Nosetto, M. D.; Jobbágy, E. G. and Paruelo, J. M. (2006) Carbon sequestration in semi-arid rangelands: comparison of *Pinus ponderosa* plantations and grazing exclusion in NW Patagonia. *J. Arid Environ.* 67 p 142 – 156.

NRCS (2014) *Soil Properties and Qualities*. Natural Resources Conservation Services Soils. United States Department of Agriculture. NSSH Part 618 (Subpart A). USA. p 618.0 – 618.77.

Olsen, S. R. & Sommers, L. E. (1982) *Phosphorus*. In: Page, A. L. (ed) (1982) *Methods of Soil Analysis*. Part 2 Chemical and microbiological properties, Second edition. Agronomy 9. Part 2. American Society of Agronomy, Inc. And Soil Science Society of America, Inc. Madison Wisconsin. p 403 – 430.

ONU (1973) Groundwater in Africa. *United Nations. Department Economics and Social Affairs*. New York. 170 p.

Prasad, R. & Power, J. Power (1997) *Soil fertility management for sustainable agriculture*. CRC LEWIS PUBLISHERS. Boca Raton, New York. 356 p.

Portela, A. M. (1963) Observações de campo sobre alguns problemas do Vale do Cavaco. *Gazeta Agrícola de Angola Nº 9 – Vol. VII*. p. 568 – 572.

Póvoas, I. & Barral, M. F. (1992) *Métodos de análise de solos*. Instituto de Investigação Científica Tropical. Ministério do Planeamento e da Administração do Território. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia. Lisboa. 61 p.

Projecto Agro 530 (2007) Plano de intervenção e desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para o norte da zona aluvionar do Tejo. *Instituto Superior de Agronomia (ISA)*

Instituto Superior Técnico (IST) e a Direcção Regional de Agricultura do Ribatejo e Oeste (DRARO). Lisboa.

Richards, L. A.; Allison, L. E.; Bernstein, L.; Bower, C. A.; Brown, J. W.; Fireman, M.; Hatcher, J. T.; Hayward, H. E.; Pearson, G. A.; Reeve, R. C. and Wilcox, L. V. (1954) *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils*. United States Salinity Laboratory Staff. Soil and Water Conservation Research Branch. Agricultural Research Service Agriculture Handbook No. 60 – United States Department of Agriculture, USA. 159 p.

Rhoades, J. D. (1984) Use of saline water for irrigation. *Department of Soil and Environmental Sciences. University California*. Riverside 2 p.

Rhoades, J. D. (1991) *Management of Saline/Sodic Soils*. USDA Soil Conservation Service and US Salinity Laboratory Riverside, California. 137 p.

Robins, L. (2004) *Dryland Salinity and Catchment Management – A Resource Directory and Action Manual for Catchment Managers*, National Dryland Salinity Program, Land & Water Australia, Canberra ACT. 174 p.

Scianna, J. (2002) Salt – affected soils: Their causes, measure, and classification. HortNote No.5 in NRCS: Salinity in Agriculture. American Society of Civil Engineers. *Agricultural salinity assessment and management*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices N° 71. <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE.../stelprdb1044788.pdf>.

Silva, J. M. A. V. e (1972) Estudo sedimentológico e mineralógico dos Solos do Vale do Cavaco. *Instituto de Investigação Agronómica de Angola. Serie Científica N° 27*. 18 p.

SARUA (2014) Climate change counts. Angola National Report. *Southern African Regional Universities Associations*. 101 p.

Snamprogetti (1986) Reactivação e desenvolvimento da produção Agrícola. Relatório Final. *Ministério da Agricultura*. Luanda. 195 p.

Soane, B. D. & Ouwerkerk, C. V. (2013) *Soil compaction in crop production*. Developments in Agricultural Engineering. Volume 11. Elsevier Science B. V. Amestrdam, Netherland. 684 p.

Sparks, D. L. (2003) *Environmental soil chemistry*. Second edition. Elsevier. Science. USA. 352 p.

ST (1999) *Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*. Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture Agriculture Handbook. Second Edition, Washington, DC 871 p.

Suarez, D. L. & Jurinak, J. J. (2012) The chemistry of salt-afected soil and waters. Chapter 3. In: Wallender, W. W. & Tanji, K. K. (eds) (2012) *Agricultural salinity assessment and management*. Second edition. ASCE Manual and Report on Engineering Practice n° 71. American Society of Civil Engineers – Environmental & Water Resources Institute. Reston, Virginia. 1094 p.

Sumner, M. E. (1993) Sodic soils: New perspectives. *Australian Journal of Soil Research* 31 p 683 – 750.

Teixeira, J. B. (1968) Algumas sugestões para a protecção das encostas do Vale do rio Cavaco. *VIII Jornadas Silvo-Agronómicas, Angola*, Nova Lisboa. p 1 – 12.

Vaz, J. T. (1964) Os solos salgados do Cassequel. *Agronomia Angolana* 20. p 29 – 45.

Wambecke, A. Van. (1991) *Soils of the Tropics: Properties and Appraisal*. McGraw Hill. New York, USA. 343 p.

Watanabe, F. S. & Olsen, S. R. (1965) Test of Na ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO_3 extract from soils, *Soil Science Society American Proceedings*, 29: p 67 – 78.

Western Plant Health Association (2010) *Western Fertilizer Handbook 9th*. 9th Edition. Waveland Press. 356 p.

White, R. (2009) Princípios e práticas da ciência do solo: o solo como um recurso natural. 4ª Edição. Organização Andrei Editora Lda. Blackwell Publishing. Oxford. 426 p.

Wilcox, L. V. (1955) *Classification and use of irrigation waters*. Salinity laboratory, Circular N° 969. United State Department of Agriculture, Washington, D. C. 19 p.

Wild, J. (ed. sc.); Madden, E. (ed) and McMahon, L. (ed) (2014) *Salinity Training Manual*. NSW Department of Primary Industries. Wagga Wagga. 320 p.

WRB (2006) *World reference base for soil resource: A framework for international classification, correlation and communication*. World soil report 106. International Union of soil sciences (IUSS), ISRIC World Soil Information (ISRIC), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 180 p.

Yoo, K; Amundson, R; Heimsath, A. M. and Dietrich, W. E. (2006) Spatial patterns of soil organic carbon on hill slopes: integrating geomorphic processes and the biological C cycle. *Geoderma* 130 p 47 – 65.

ANEXOS

DADOS ANALÍTICOS DOS SOLOS

Anexo 1. Dados respeitantes à granulometria, pH, condutividade eléctrica (CE), pesquisa de sais, teores de carbonato de cálcio (CaCO₃), carbono orgânico e de fósforo (P_{OL}; teste de Olsen) e potássio (K_{ER}, teste de Egnér-Riehm) extraíveis dos solos dos perfis amostrados no Vale do Cavaco. Simbologia: Perfis dos solos amostrados no perímetro de rega (PS), Solos localizados em colinas periféricas ao perímetro de rega (PA), Colinas (CL), solos cultivados (CT), solos abandonados não cultivados (AB), Areia grossa (AG), Areia fina (AF), Limo (LI) e Argila (AR), Pesquisa de sais: Não determinado (-), Nulo (N), Vestígios (Vest), Muito baixo (mB), Baixo (B), Médio (M), Alto (A), Muito alto (mA).

Perfil	Prof.	Granulometria				pH		CE	Pesquisa de sais		CaCO ₃	Corg	Extraíveis	
		AG	AF	LI	AR	(H ₂ O)	(KCl)		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻			P _{OL}	K _{ER}
	cm	g kg ⁻¹						dS m ⁻¹			g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	
PS1 (CT)	0-30	425,3	302,9	131,2	140,6	9,23	7,95	0,28	B	N	1,38	6,68	32,93	71,13
	30-60	140,4	490,4	198,5	170,8	9,40	7,77	0,23	m B	N	1,32	4,05	9,86	25,93
	60-90	24,1	91,8	469,4	414,7	9,14	7,48	0,49	mB/M	< mB	2,28	4,06	15,94	7,48
PS2 (CT)	0-25	406,3	203,9	157,9	231,8	9,03	7,90	0,29	m B	N	3,66	7,49	26,69	71,97
	25-60	279,5	218,4	205,7	296,4	8,96	7,68	0,18	N	N	2,86	5,08	9,30	29,24
	60-100	100,3	301,3	273,0	325,3	8,85	7,49	0,23	< mB	N	1,01	4,25	7,30	31,47
PS3 (AB)	0-25	-	-	-	-	7,95	7,30	1,21	m/A	m B	3,83	11,59	14,49	49,88
	25-50	-	-	-	-	8,13	7,23	0,54	M/A	N	2,44	7,49	6,43	25,37
	50-75	-	-	-	-	8,24	7,21	0,50	A	N	3,31	7,06	5,45	15,92
PS4 (CT)	0-20	222,9	139,3	301,1	336,7	8,72	7,55	0,48	B	N	1,93	13,12	55,31	37,57
	20-40	249,1	75,4	294,6	380,9	8,97	7,57	0,57	M	N	1,80	8,19	10,47	29,22
	40-75	660,0	63,0	118,0	159	9,3	7,8	0,3	m B	m B	0,9	3,1	3,5	19,1
PS5 (CT)	0-30	-	-	-	-	8,45	8,3	3,28	m A	A/ m A	4,51	6,84	24,43	49,82
	30-50	-	-	-	-	8,51	7,92	2,83	M	M	1,15	2,06	7,40	24,13
	50-90	-	-	-	-	8,26	7,55	2,19	A	A	1,69	1,41	1,57	25,50
PS6 (AB)	0-20	-	-	-	-	8,19	7,63	1,70	m A	M	6,08	9,53	17,44	63,53
	20-45	-	-	-	-	8,27	7,60	2,07	m A	A	8,02	9,51	12,05	60,98
	45-75	-	-	-	-	8,25	7,58	2,72	A/m A	A	7,89	4,10	4,50	52,73
PS7 (AB)	0-20	545,0	286,4	68,1	100,6	8,66	7,87	0,95	m A	M	0,73	6,69	3,60	21,63
	20-45	516	306,7	65,9	111,2	8,22	7,79	0,22	N	N	0,38	3,20	21,00	10,95
	45-70	829,9	138,7	08,1	23,3	8,80	8,12	0,10	N	N	0,79	0,68	9,38	8,727

Anexo 1. (Continuação 1).

Perfil	Prof.	Granulometria				pH		CE	Pesquisa de sais		CaCO ₃	Corg	Extraíveis	
		AG	AF	LI	AR	(H ₂ O)	(KCl)		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻			POL	K _{ER}
		g kg ⁻¹							g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹	
	cm					dS m ⁻¹								
PS8 (AB)	0-20	-	-	-	-	8,11	7,94	1,87	m A	A/ mA	1,79	6,99	5,58	27,99
	20-50	-	-	-	-	8,90	8,09	0,52	A	m B/B	1,04	3,78	51,28	16,03
	50-75	-	-	-	-	8,70	7,82	0,75	M/A	B	1,46	3,84	15,41	16,67
PS9 (CT)	0-20	-	-	-	-	8,48	7,76	0,71	A	A /m A	2,16	8,48	7,01	50,32
	20-45	-	-	-	-	8,26	7,73	1,49	M /A	N	1,73	12,82	18,63	14,66
	45-90	-	-	-	-	8,97	8,03	0,13	N	M	0,49	1,91	7,20	7,176
PS10 (AB)	0-30	297,7	341,2	171,5	189,6	8,22	7,75	1,44	M	M	12,81	5,74	4,02	72,6
	30-55	166,8	254,9	286,6	291,8	8,45	7,66	0,83	M	M	13,61	4,48	23,74	90,0
	55-80	271,8	304,4	182,0	241,8	8,40	7,71	0,67	B	N	12,39	3,67	7,11	46,66
PS11 (AB)	0-20	-	-	-	-	7,90	7,65	6,79	> m A	A	9,83	7,23	5,26	75,78
	35-55	-	-	-	-	8,02	7,63	8,70	> m A	A	9,62	5,73	17,29	87,16
	55-85	-	-	-	-	8,12	7,70	6,54	> m A	A	14,20	3,67	6,71	90,83
PS12 (CT)	0-20	-	-	-	-	8,34	7,59	0,70	m B	N	9,90	10,54	22,42	49,46
	20-40	-	-	-	-	8,27	7,61	1,35	A	M	8,45	6,64	14,76	24,2
	40-90	-	-	-	-	8,20	7,61	1,34	M	A	5,64	5,67	26,69	18,7
PS13 (CT)	0-20	440,4	380,0	87,0	92,7	8,97	7,95	0,19	N	N	0,93	5,43	4,77	6,29
	20-45	522,2	398,8	52,1	26,9	9,27	8,10	0,09	N	N	0,37	1,80	8,59	16,99
	45-80	689,0	262,7	19,7	28,5	9,30	8,36	0,22	N	N	0,70	2,28	1,82	21,58
PS14 (CT)	0-25	249,6	262,7	209,2	272,8	8,42	7,16	0,15	m B	N	0,72	11,14	2,46	10,99
	25-55	264,7	268,4	208,5	280,6	8,52	7,23	0,88	N	N	0,95	7,25	4,17	12,63
	55-85	324,0	246,2	205,1	228,3	8,61	7,03	1,87	N	N	1,28	4,09	4,23	9,435
PS15 (CT)	0-20	306,5	454,1	138,3	101,1	9,01	7,90	0,23	N	N	1,39	4,62	8,90	52,51
	20-50	312,4	432,7	147,9	107,1	9,25	7,99	0,20	N	N	1,30	4,31	7,84	36,02
	50-75	140,6	403,0	235,1	221,3	8,62	7,66	0,37	m B	m B	2,53	3,42	10,93	15,24

Anexo 1. (Continuação 2).

Perfil	Prof. cm	Granulometria				pH		CE dS m ⁻¹	Pesquisa de sais		CaCO ₃ -----g kg ⁻¹ -----	Corg -----g kg ⁻¹ -----	Extraíveis	
		AG	AF	LI	AR	(H ₂ O)	(KCl)		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻			POL	K _{ER}
		----- g kg ⁻¹ -----							----- mg kg ⁻¹ -----					
PS16 (CT)	0-25	13,9	423,6	354,9	207,6	8,75	7,67	0,29	m B	N	7,27	10,13	7,26	73,35
	25-50	08,0	759,9	109,2	122,9	8,90	7,75	0,14	N	N	2,59	2,09	3,16	19,56
	50-75	10,4	362,7	344,3	282,6	8,83	7,52	0,19	N	N	3,36	4,85	9,68	39,20
PS17 (CT)	0-35	289,0	422,5	120,2	168,2	8,41	6,81	0,08	N	N	0,34	3,55	8,11	7,51
	35-50	644,0	181,6	63,4	111,0	8,79	7,17	0,07	N	N	0,33	10,33	9,84	7,20
	50-75	448,1	182,9	152,8	216,2	7,57	7,64	0,13	N	N	0,60	2,18	16,12	11,26
PS18 (CT)	0-25	330,6	435,0	104,1	130,4	8,13	6,95	0,77	B/M	B/m B	0,97	5,28	24,91	55,55
	25-60	278,9	519,5	89,1	112,5	8,59	6,80	0,13	N	N	0,32	2,22	14,19	11,51
	60-100	187,5	717,5	33,3	61,6	8,49	6,80	0,05	N	N	0,20	1,31	11,55	4,04
PS19 (CT)	0-20	295,5	174,1	210,3	320,1	8,44	7,32	0,21	N	N	0,54	7,49	9,24	17,47
	20-45	115,9	180,1	303,3	400,7	8,50	7,76	0,16	N	N	0,36	6,01	6,29	11,41
	45-75	875,2	35,3	06,4	83,1	8,73	6,78	0,06	N	N	0,69	0,82	5,56	4,59
PS20 (AB)	0-25	113,9	456,6	253,9	175,6	8,80	7,80	0,39	Vest.	N	3,89	7,53	16,38	85,41
	25-50	46,7	640,6	191,3	121,5	8,70	7,79	0,37	B	N	2,44	2,79	5,02	25,18
	50-90	436,0	429,0	66,0	68,0	8,7	8,1	0,3	m B	N	1,6	1,2	4,5	7,8
PS21 (AB)	0-25	-	-	-	-	8,30	7,76	1,77	M/ A	A/m A	5,33	8,35	26,09	43,79
	25-55	-	-	-	-	8,97	7,75	1,25	N	A	2,65	2,58	11,26	3,15
	55-75	-	-	-	-	8,38	8,08	0,37	N	B	1,36	0,60	7,59	85,94
PS22 (AB)	0-30	-	-	-	-	8,60	7,78	1,32	m A	B	5,03	7,70	17,58	8,88
	30-60	-	-	-	-	8,22	8,03	0,95	A	B	3,94	0,82	2,83	45,58
	60-80	-	-	-	-	8,34	7,64	3,73	>m A	B	7,96	3,74	4,51	16,89

Anexo 1. (Continuação 3).

Perfil	Prof. cm	Granulometria				pH		CE dS m ⁻¹	Pesquisa de sais		CaCO ₃ -----g kg ⁻¹ -----	Corg ----- mg kg ⁻¹ -----	Extraíveis	
		AG	AF	LI	AR	(H ₂ O)	(KCl)		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻			POL	K _{ER}
		g kg ⁻¹ -----												
PS23 (CT)	0-15	218,8	466,6	175,4	139,2	8,95	7,68	0,57	B	N	0,62	7,85	15,18	5,78
	15-40	245,6	485,4	119,4	149,6	9,08	7,80	0,17	N	N	0,61	3,04	2,41	2,80
	40-70	303,7	626,5	175	52,3	7,99	7,64	0,09	N	N	0,31	0,50	3,50	2,84
PS24 (CT)	0-25	286,8	322,5	134,8	255,9	7,99	7,36	0,13	N	N	0,36	7,04	5,48	8,38
	25-55	341,7	396,0	81,1	181,2	8,03	6,47	0,10	N	N	1,39	2,43	5,63	5,01
	55-75	423,6	367,8	81,7	127,0	8,49	6,32	0,09	N	N	0,52	2,04	6,69	3,06
PS25 (AB)	0-25	286,8	322,5	134,8	255,9	7,99	7,36	0,13	N	N	0,36	7,04	5,48	8,38
	25-55	341,7	396,0	81,1	181,2	8,03	6,47	0,10	N	N	1,39	2,43	5,63	5,01
	55-75	423,6	367,8	81,7	127,0	8,49	6,32	0,09	N	N	0,52	2,04	6,69	3,06
PS26 (CT)	0-25	195,0	361,7	184,0	259,4	8,65	6,41	0,73	B	B	2,87	5,70	21,67	41,59
	25-50	199,1	339,6	217,3	244,0	8,64	7,81	0,59	m B	m B	3,33	2,80	12,32	37,73
	50-75	131,4	356,9	252,5	259,1	8,63	7,77	0,60	B	B	3,48	3,07	8,29	43,35
PA27 (CL)	0-43	-	-	-	-	7,98	7,59	2,30	m B	A/m A	69,7	3,84	6,28	20,94
	43-108	12,4	462,2	250,5	27,4,9	8,88	8,47	13,97	> m A	> m A	13,2	2,75	1,33	92,12
	108-180	-	-	-	-	8,06	7,61	3,29	m A	A/ m A	5,9	2,42	0,09	51,99
PA28 (CL)	0-35	-	-	-	-	8,33	7,88	4,89	m A	A/ ma	28,6	1,85	0,46	58,41
	35-98	15,2	383,6	259,6	341,6	8,67	8,17	10,68	m A	A/ ma	44,9	2,99	2,95	39,26
	98-185	09,8	425,4	240,1	324,6	8,87	8,39	10,40	m A	m A	37,7	1,92	0,17	36,56
PA29 (CL)	0-55	-	-	-	-	8,22	7,76	1,67	m A	A	62,5	2,67	1,56	12,20
	55 – 102	34,9	468,5	211,6	285,0	8,91	8,32	9,10	> m A	> m A	24,9	2,04	0,99	28,34
	102 – 130	19,5	334,3	265,6	380,6	8,85	8,31	8,14	>m A	>m A	33,4	2,10	0,45	22,48
	130 – 170	38,7	425,7	222,2	313,3	8,83	8,33	6,46	> m A	> m A	27,6	2,09	0,25	23,74

Anexo 1. (Continuação 4).

Perfil	Prof.	Granulometria				pH		CE	Pesquisa de sais		CaCO ₃	Corg	Extraíveis	
		AG	AF	LI	AR	(H ₂ O)	(KCl)		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻			POL	K _{ER}
		----- g kg ⁻¹ -----											----- mg kg ⁻¹ -----	
	cm							dS m ⁻¹			----- g kg ⁻¹ -----			
PA30 (CL)	0-20	676,9	157,0	57,2	108,9	9,41	8,35	1,53	m B /B	N	35,9	3,15	1,64	16,88
	20-43	718,3	133,4	45,6	102,7	9,16	8,47	8,21	m A	m B	11,4	1,63	0,52	13,94
	43-160	733,4	124,0	62,8	79,8	8,63	8,49	14,02	> m A		8	1,74	0,72	23,21
PA31 (CL)	0-50	217,0	194,0	259,7	329,3	8,91	7,99	5,14	A/ m A	< m B	171	2,83	0,51	17,77
	50-95	86,4	286,9	284,1	342,6	8,56	7,85	1,50	A	M/A	255	3,13	0,42	139,91
	95-150	292,9	212,5	203,6	291,0	9,29	8,36	1,66	< m B	< m B	135,9	4,64	0,87	23,77
PA32 (CL)	0-23	513,2	239,3	88,5	159,0	9	7,91	2,29	m B	m A	49	31,1	5,98	18,20
	23-78	45,9	350,0	268,8	335,3	7,96	7,6	9,02	> m A	< m B	166,7	27,7	0,98	23,51
	78-115	53,8	300,1	294,6	351,5	8,09	7,69	11,1	> m A	A/ m A	125,6	23,4	0,85	18,74

Anexo 2. Dados da fracção argilosa referente à matéria orgânica (g kg^{-1}), capacidade troca catiónica da matéria orgânica e da fracção argila ($\text{cmol}_c \text{ gkg}^{-1}$) das diferentes camadas dos solos do Vale do Cavaco. Simbologia: Perfis dos solos amostrados no perímetro de rega (PS), solos cultivados (CT), solos abandonados não cultivados (AP).

Perfil	Prof.	Argila	M. O.	CTC dos solos	CTC M. O.	CTC fracção mineral	CTC fracção argila
	cm	--- g kg^{-1} ---				----- $\text{cmol}_c \text{ gkg}^{-1}$ -----	
PS1 (CT)	0-30	140,60	11,50	7,23	2,30	4,93	35,06
	30-60	170,80	7,00	9,20	1,40	7,80	45,67
	60-90	414,70	7,00	12,12	1,40	10,72	25,85
PS2 (CT)	0-25	231,80	12,90	8,84	2,60	6,24	26,92
	25-60	296,40	8,80	9,03	1,80	7,23	24,39
	60-100	325,30	7,30	11,25	1,50	9,75	29,97
PS4 (CT)	0-20	336,70	22,60	12,07	4,50	7,57	22,48
	20-40	380,90	14,10	11,06	2,80	8,26	21,69
	40-75	159,00	5,30	6,145	1,10	5,045	31,73
PA7 (AB)	0-20	100,60	11,50	5,32	2,30	3,02	30,02
	20-45	111,20	5,50	5,21	1,10	4,11	36,96
	45-70	23,30	1,20	2,00	0,20	1,8	77,25
PS10 (AB)	0-30	189,60	9,90	3,87	2,00	1,87	9,86
	30-55	291,80	7,70	11,29	1,50	9,79	33,55
	55-80	241,80	6,30	7,37	1,30	6,07	25,10
PS13 (AB)	0-20	92,70	9,40	7,44	1,90	5,54	59,76
	20-45	26,90	3,10	4,09	0,60	3,49	129,74
	45-80	28,50	3,90	2,20	0,80	1,40	49,12
PS14 (AB)	0-25	272,80	19,20	13,3	3,80	9,50	34,82
	25-55	280,60	12,50	10,55	2,50	8,05	28,69
	55-85	228,30	7,10	9,76	1,40	8,36	36,62
PS15 (AB)	0-20	101,10	8,00	8,38	1,60	6,78	67,06
	20-50	107,10	7,40	7,16	1,50	5,66	52,85
	50-75	221,30	5,90	9,99	1,20	8,79	39,72
PS16 (CT)	0-25	207,60	17,50	12,57	3,50	9,07	43,69
	25-50	122,90	3,60	6,71	0,70	6,01	48,90
	50-75	282,60	8,40	8,12	1,70	6,42	22,72
PS 17 (CT)	0-35	168,20	6,10	9,08	1,20	7,88	46,85
	35-50	111,00	17,80	4,58	3,60	0,98	8,83
	50-75	216,20	3,80	5,44	0,80	4,64	21,46
PS18 (CT)	0-25	130,40	9,10	5,45	1,80	3,65	27,99
	25-60	112,50	3,80	6,48	0,80	5,68	50,49
	60-100	61,60	2,30	3,82	0,50	3,32	53,90

Anexo 2. (Continuação 1)

Perfil	Prof.	Argila	M. O.	CTC dos solos	CTC M. O.	CTC fração mineral	CTC fração argila
	cm	--- g kg ⁻¹ ---				-----cmol _c gkg ⁻¹ -----	
PS19 (CT)	0-20	320,10	12,90	8,46	2,60	5,86	18,31
	20-45	400,70	10,40	8,57	2,10	6,47	16,15
	45-75	83,10	1,40	3,72	0,30	3,42	41,16
PS20 (AB)	0-25	175,60	13,00	8,30	2,60	5,70	32,46
	25-50	121,50	4,80	2,01	1,00	1,01	8,31
	50-90	68,00	2,10	4,35	0,40	3,95	58,09
PS23 (CT)	0-15	139,20	13,50	7,97	2,70	5,27	37,86
	15-40	149,60	5,20	8,19	1,00	7,19	48,06
	40-70	52,30	0,90	4,09	0,20	3,89	74,38
PA24 (CT)	0-25	255,90	12,10	7,07	2,40	4,67	18,25
	25-55	181,20	4,20	7,00	0,80	6,20	34,22
	55-75	127,00	3,50	6,34	0,70	5,64	44,41
PS25 (AB)	0-25	259,40	9,80	11,84	2,00	9,84	37,93
	25-50	244,00	4,80	10,61	1,00	9,61	39,39
	50-75	259,10	5,30	8,64	1,10	7,54	29,10

Anexo 3. Dados referentes à concentração (cmol_c kg⁻¹) de cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), potássio (K⁺), sódio (Na⁺), hidrogénio (H) e da soma das bases (S), capacidade de troca de catiónica (CTC), saturação em bases (S/(S+H⁺)), percentagem de soma das bases na capacidade de troca catiónica (S/CTC), percentagem de sódio de troca (Na⁺/CTC), percentagem de sódio de troca na soma das bases mais hidrogénio [Na⁺/(S+H⁺)], percentagem de sódio de troca mais magnésio na capacidade de troca catiónica [(Na⁺+Mg²⁺)/CTC], percentagem de sódio de troca mais magnésio de troca na soma das bases mais hidrogénio [(Na⁺+Mg²⁺)/S+H] no complexo de troca das camadas dos solos do Vale do Cavaco. Simbologia: Perfis dos solos amostrados no perímetro de rega (PS), Solos localizados em colinas periféricas ao perímetro de rega (PA), Colinas (CL), solos cultivados (CT), solos abandonados não cultivados (AB), Não determinado (-).

Perfil	Prof.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺	S + H ⁺	CTC	S/(S+H ⁺)	S/CTC	Na ⁺ /CTC	Na ⁺ /(S+H ⁺)	(Na ⁺ +Mg ²⁺)/CTC	(Na ⁺ +Mg ²⁺)/S+H
	cm	-----cmol _c kg ⁻¹ -----								-----%-----					
PS1 (CT)	0-30	4,81	1,57	0,74	1,46	8,58	0	8,58	7,23	100	118,67	20,19	17,02	41,91	35,31
	30-60	6,8	2,02	0,47	1,77	11,06	0	11,06	9,20	100	120,22	19,24	16,00	41,20	34,27
	60-90	7,59	3,78	0,75	3,66	15,78	0	15,78	12,12	100	130,20	30,20	23,19	61,39	47,15
PS2 (CT)	0-25	6,62	2,35	1,04	0,91	10,92	0	10,92	8,84	100	123,53	10,29	8,33	36,88	29,85
	25-60	7,74	3,06	0,4	0,94	12,14	0	12,14	9,03	100	134,44	10,41	7,74	44,30	32,95
	60-100	8,56	4,06	0,45	1,29	14,36	0	14,36	11,25	100	127,64	11,47	8,98	47,56	37,26
PS3 (AB)	0-25	14,97	1,07	0,66	0,5	17,2	0,54	17,74	14,15	94,6	121,55	3,53	2,82	11,10	8,85
	25-50	18,39	1,54	0,38	0,48	20,79	0,48	21,27	15,88	97,74	130,92	3,02	2,26	12,72	9,50
	50-75	16,38	1,96	0,14	0,68	19,16	0,86	20,02	14,21	95,70	134,83	4,79	3,40	18,58	13,19
PS4 (CT)	0-20	9,67	4,33	0,47	2,95	17,42	0	17,42	12,07	100	144,32	24,44	16,93	60,31	41,79
	20-40	8,82	3,04	0,33	2,83	15,02	0,92	15,94	11,06	94,23	135,80	25,59	17,75	53,07	36,83
	40-75	4,955	1,74	0,215	2,23	9,14	0	9,14	6,145	100	148,74	36,29	24,40	64,61	43,44
PS5 (CT)	0-30	7,08	2,27	0,55	3,62	13,52	0,11	13,63	8,88	96,36	152,25	40,77	26,56	66,33	43,21
	30-50	4,34	1,36	0,47	2,83	9	0,34	9,34	5,51	99,2	163,34	51,36	30,30	76,04	44,86
	50-90	5,79	1,81	0,66	3,54	11,8	0,68	12,49	0,23	96,4	-	-	28,34	-	42,83
PS6 (AB)	0-20	9,69	2,68	0,63	1,64	14,64	0,58	15,22	9,65	96,19	151,71	16,99	10,78	44,77	28,38
	20-45	8,81	3,26	0,64	2,55	15,26	0,28	15,54	10,09	98,20	151,24	25,27	16,41	57,58	37,39
	45-75	18,25	3,58	0,52	3,58	25,93	0,41	26,34	7,69	98,44	337,19	46,55	13,59	93,11	27,18

Anexo 3. (Continuação 1).

Perfil	Prof.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺	S + H ⁺	CTC	S/(S+H ⁺)	S/CTC	Na ⁺ /CTC	Na ⁺ /(S+H ⁺)	(Na ⁺ +Mg ²⁺)/CTC	(Na ⁺ +Mg ²⁺)/S+H ⁺
	cm	-----cmol _c kg ⁻¹ -----								-----%-----					
PS7 (AB)	0-20	4,93	1,12	0,4	1,07	7,52	0,52	8,04	5,32	93,5	141,35	20,11	13,31	41,17	27,24
	20-45	4,84	0,95	0,18	0,81	6,78	0	6,78	5,21	100	130,13	15,55	11,95	33,78	25,96
	45-70	1,56	0,28	0,1	0,53	2,48	0	2,48	2,00	100	124,00	26,50	21,37	40,50	32,66
PS8 (AB)	0 -20	7,57	1,96	0,4	0,92	10,85	0,48	11,33	7,11	95,76	146,14	12,94	8,12	40,51	25,42
	20 -50	4,07	1,14	0,32	1,02	6,55	0,52	7,07	5,21	92,64	116,47	19,58	14,43	41,46	30,55
	50 -75	6,48	1,74	0,48	3,12	11,82	0,2	12,02	7,88	98,34	147,50	39,59	25,96	61,68	40,43
PS9 (CT)	0 -20	4,8	0,93	0,6	1,22	7,56	0,82	8,37	5,36	90,32	127,40	22,76	14,58	40,11	25,69
	20 -45	3,98	0,88	0,22	1,90	6,98	0,73	7,71	3,77	90,53	167,62	50,40	24,64	73,74	36,06
	45 -90	1,23	0,2	0,09	0,66	2,18	0	2,18	1,66	100,00	131,33	39,76	30,28	51,81	39,45
PS10 (AB)	0 -30	4,15	0,59	0,54	1,27	6,55	0,67	7,22	3,87	90,72	153,54	32,82	17,59	48,06	25,76
	30 -55	10,77	1,39	0,87	1,28	14,30	0,01	14,30	11,29	100,00	126,66	11,34	8,95	23,65	18,67
	55 -80	7,75	0,82	1,85	1,08	11,51	0,42	11,93	7,37	96,48	150,68	14,65	9,05	25,78	15,93
PS11 (AB)	0 -20	18,28	2,92	1,22	1,57	23,99	0	23,99	18,82	100,00	127,47	8,34	6,54	23,86	18,72
	20 -40	18,29	3,56	0,37	1,53	23,75	0	23,75	17,87	100,00	132,90	8,56	6,44	28,48	21,43
	40 -90	9,82	2,44	0,2	2,04	14,5	0,49	14,99	9,94	96,73	141,11	20,52	13,61	45,07	29,89
PS12 (CT)	0 -20	18,28	2,92	1,22	1,57	23,99	0	23,99	18,82	100,00	127,47	8,34	6,54	23,86	18,72
	20 -40	18,29	3,56	0,37	1,53	23,75	0	23,75	17,87	100,00	132,90	8,56	6,44	28,48	21,43
	40 -90	9,82	2,44	0,2	2,04	14,5	0,49	14,99	9,94	96,73	141,11	20,52	13,61	45,07	29,89
PS13 (CT)	0 -20	5,56	1,45	0,42	1,66	9,10	0	9,10	7,44	100,00	122,31	22,31	18,24	41,80	34,18
	20 -45	3,22	0,89	0,23	0,88	5,22	0	5,22	4,09	100,00	127,63	21,52	16,86	43,28	33,91
	45 -80	1,81	0,41	0,1	0,58	2,91	0	2,91	2,2	100,00	132,27	26,36	19,93	45,00	34,02

Anexo 3. (Continuação 2).

Perfil	Prof.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺	S + H ⁺	CTC	S/(S+H ⁺)	S/CTC	Na ⁺ /CTC	Na ⁺ /(S+H ⁺)	(Na ⁺ +Mg ²⁺)/CTC	(Na ⁺ +Mg ²⁺)/S+H ₊
	cm	-----cmolc kg ⁻¹ -----								-----%-----					
PS14 (CT)	0 -25	11,32	2,32	0,18	1,21	15,03	0	15,03	13,3	100,00	113,01	9,10	8,05	26,54	23,49
	25 -55	9,86	1,82	1,06	0,92	12,69	0	12,69	10,55	100,00	120,28	8,72	7,25	25,97	21,59
	55 -85	8,84	1,69	0,66	0,81	11,42	0	11,42	9,76	100,00	117,01	8,30	7,09	25,61	21,89
PS15 (CT)	0 -20	6,4	1,12	1,06	0,81	9,38	0	9,38	8,38	100,00	111,93	9,67	8,64	23,03	20,58
	20 -50	5,86	1,12	0,66	1,2	8,84	0	8,84	7,16	100,00	123,46	16,76	13,57	32,40	26,24
	50 -75	8,86	2,37	0,19	1,25	12,67	0	12,67	9,99	100,00	126,83	12,51	9,87	36,24	28,57
PS16 (CT)	0 -25	10,25	2,66	0,9	1,2	15,01	0	15,01	12,57	100,00	119,41	9,55	7,99	30,71	25,72
	25 -50	5,8	1,04	0,32	0,74	7,9	0	7,9	6,71	100,00	117,73	11,03	9,37	26,53	22,53
	50 -75	9,39	2,1	0,41	1,01	12,91	0	12,91	8,12	100,00	158,99	12,44	7,82	38,30	24,09
PS17 (AB)	0 -35	6,84	1,84	0,13	0,82	9,63	0	9,63	9,08	100,00	106,06	9,03	8,52	29,30	27,62
	35 -50	3,7	0,93	0,11	0,53	5,27	0	5,27	4,58	100,00	115,07	11,57	10,06	31,88	27,70
	50 -75	5,71	1,23	0,09	0,57	7,60	0	7,6	5,44	100,00	139,71	10,48	7,50	33,09	23,68
PS18 (CT)	0 -0,25	3,21	1,07	0,8	1,07	6,14	0,83	6,97	5,45	88,09	112,66	19,63	15,35	39,27	30,70
	25 -60	4,83	1,07	0,2	0,68	6,78	0,83	6,78	6,48	100,00	104,63	10,49	10,03	27,01	25,81
	60 -100	3	0,61	0,09	0,54	4,24	0	4,24	3,82	100,00	110,99	14,14	12,74	30,10	27,12
PS19 (CT)	0 -20	8,2	2,07	0,14	0,75	11,16	0	11,16	8,46	100,00	131,91	8,87	6,72	33,33	25,27
	20 -45	9,23	2,19	0,11	1,2	12,73	0	12,73	8,57	100,00	148,54	14,00	9,43	39,56	26,63
	45 -75	2,56	0,51	0,1	0,59	3,76	0	3,76	3,72	100,00	101,08	15,86	15,69	29,57	29,26
PS20 (AB)	0 -25	6,89	1,58	1,24	1,02	10,73	0	10,73	8,3	100,00	129,28	12,29	9,51	31,33	24,23
	25 -50	5,05	0,86	0,36	1,14	7,41	0	7,41	2,01	100,00	368,66	56,72	15,38	99,50	26,99
	50 -90	4,10	0,59	0,15	0,76	5,61	0	5,61	4,35	100,00	128,97	17,47	13,55	31,03	24,06

Anexo 3. (Continuação 3).

Perfil	Prof.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺	S + H ⁺	CTC	S/(S+H ⁺)	S/CTC	Na ⁺ /CTC	Na ⁺ /(S+H ⁺)	(Na ⁺ +Mg ²⁺)/CTC	(Na ⁺ +Mg ²⁺)/S+H ⁺
	cm	-----cmol _c kg ⁻¹ -----								-----%-----					
PS21 (AB)	0 -25	13,09	2,98	0,77	1,52	18,36	0	18,36	13,01	100,00	141,12	11,68	8,28	34,59	24,51
	25 -55	6,36	2,4	0,45	1,28	10,49	0,34	10,83	5,52	96,86	190,04	23,19	11,82	66,67	33,98
	55 -75	2,77	1,19	0,23	0,85	5,04	0	5,04	3,61	100,00	139,61	23,55	16,87	56,51	40,48
PS22 (AB)	0 -30	10,68	2,11	1,51	1,14	15,44	0	15,43	12,6	100,06	122,54	9,05	7,39	25,79	21,06
	30 -60	4,81	1,44	0,29	1,07	7,61	0	7,61	4,76	100,00	159,87	22,48	14,06	52,73	32,98
	60 -80	5,64	2,35	0,56	4,1	12,65	0,6	13,25	2,54	95,47	498,03	161,42	30,94	253,94	48,68
PS23 (CT)	0 -15	6,12	2,05	0,38	0,95	9,49	0,46	9,95	7,97	95,38	119,07	11,92	9,55	37,64	30,15
	15 -40	6,19	1,77	0,09	0,91	8,97	0	8,97	8,19	100,00	109,52	11,11	10,14	32,72	29,88
	40 -70	2,48	0,63	0,11	0,84	4,06	0	4,06	4,09	100,00	99,27	20,54	20,69	35,94	36,21
PS24 (CT)	0 -25	7,56	1,92	0,09	0,84	10,41	0	10,41	7,07	100,00	147,24	11,88	8,07	39,04	26,51
	25 -55	5,95	1,53	0,07	0,65	8,20	0	8,20	7,00	100,00	117,14	9,29	7,93	31,14	26,59
	55 -75	5,32	1,18	0,24	0,95	7,69	0	7,69	6,34	100,00	121,29	14,98	12,35	33,60	27,70
PS25 (AB)	0 -25	3,87	0,83	0,94	1,34	6,98	0,38	7,6	3,73	91,84	187,13	35,92	17,63	58,18	28,55
	25 -50	3,68	0,67	2,64	2,48	9,47	0,51	9,97	3,85	94,98	245,97	64,42	24,87	81,82	31,59
	50 -75	3,78	0,78	3,13	3,01	10,7	0,25	10,95	4,54	97,72	235,68	66,30	27,49	83,48	34,61
PS26 (CT)	0 -25	10,72	3,31	0,63	0,99	15,65	0	15,65	11,84	100,00	132,18	8,36	6,33	36,32	27,48
	25 -50	9,31	3,30	0,81	1,43	14,85	0	14,85	10,61	100,00	139,96	13,48	9,63	44,58	31,85
	50 -75	7,9	2,91	0,88	1,64	13,41	0	13,41	8,64	100,00	155,21	18,98	12,23	53,59	34,53
PS27 (CL)	0 -43	46,30	1,01	0,67	0,31	48,28	0	48,28	0	100,00	-	-	0,64	-	2,73
	43 -108	9,34	2,34	2,23	6,43	20,34	0	20,34	0	100,00	-	-	31,61	-	43,12
	108 -180	28,46	3,65	1,05	1,31	34,46	0	34,46	0	100,00	-	-	3,80	-	14,39

Anexo 3. (Continuação 4).

Perfil	Prof. cm	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	H ⁺	S + H ⁺	CTC	S/(S+H ⁺)	S/CTC	Na ⁺ /CTC	Na ⁺ /(S+H ⁺)	(Na ⁺ +Mg ²⁺)/CTC	(Na ⁺ +Mg ²⁺)/S+H ⁺
		-----cmolc kg ⁻¹ -----								-----%-----					
PS28 (CL)	0 -35	7,89	0,98	0,68	3,45	12,99	1,07	14,06	0	92,40	-	-	24,54	-	31,51
	35 -98	14,46	0,86	1,66	9,85	26,84	0	26,84	0	100,00	-	-	36,70	-	39,90
	98 -185	1,25	0,25	0,87	5,80	8,17	1,25	9,41	0	86,70	-	-	61,64	-	64,29
PS29 (CL)	0 -55	25,76	1,47	0,33	2,50	30,06	0	30,06	0	100,00	-	-	8,32	-	13,21
	55 -102	5,83	1,27	1,08	11,06	19,24	0	19,24	0	100,00	-	-	57,48	-	64,09
	102 -130	18,37	0,94	0,35	7,06	26,72	0	26,72	0	100,00	-	-	26,42	-	29,94
	130 -170	12,62	1,39	0,47	9,29	23,77	0	23,77	0	100,00	-	-	39,08	-	44,93
PS30 (CL)	0 -20	3,74	1,98	0,34	0,52	6,58	0	6,58	4,82	100,00	136,51	10,79	7,90	51,87	37,99
	20 -43	2,42	2,33	0,32	1,95	7,02	0	7,02	4,36	100,00	161,01	44,72	27,78	98,17	60,97
	43 -160	1,34	2,53	0,93	2,90	7,71	0,09	7,80	0	98,90	-	-	37,18	-	69,62
	160 -220	0,65	2,22	0,75	2,46	6,08	0,33	6,40	0	94,90	-	-	38,44	-	73,13
PS31 (CL)	0 -20	3,74	1,98	0,34	0,52	6,58	0	6,58	4,82	100,00	136,51	10,79	7,90	51,87	37,99
	20 -43	2,42	2,33	0,32	1,95	7,02	0	7,02	4,36	100,00	161,01	44,72	27,78	98,17	60,97
	43 -160	1,34	2,53	0,93	2,90	7,71	0,09	7,80	0	98,90	-	-	37,18	-	69,62
PS32 (CL)	0 -23	6,30	0,73	0,41	1,31	8,75	0	8,75	5,86	100,00	149,32	22,35	14,97	34,81	23,31
	23 -78	8,02	0,90	0,13	0,70	9,75	12,43	22,18	7,93	44,00	122,95	8,83	3,16	20,18	7,21
	78 -115	4,98	2,76	0,09	1,19	9,02	0	9,02	6,11	100,00	147,63	19,48	13,19	64,65	43,79
	115 -185	4,18	2,88	0,11	3,10	10,26	0	10,26	0	100,00	-	-	30,21	-	58,28

Anexo 4. Proporções relativas das bases de troca nas diferentes camadas dos solos do Vale do Cavaco: Simbologia: Perfis dos solos amostrados no perímetro de rega (PS), solos cultivados (CT), solos abandonados não cultivados (AP).

Perfil	Prof.	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	Na⁺
	cm	-----%-----			
PS1 (CT)	0 -30	56,1	18,3	8,6	17,0
	30 -60	61,5	18,3	4,2	16,0
	60 -90	48,1	24,0	4,8	23,2
PS2 (CT)	0 -25	60,6	21,5	9,5	8,3
	25 -60	63,8	25,2	3,3	7,7
	60 -100	59,6	28,3	3,1	9,0
PS3 (AB)	0 -25	84,4	6	3,7	2,8
	25 -50	86,5	7,2	1,8	2,3
	50 -75	81,8	9,8	0,7	3,4
PA4 (CT)	0 -20	55,5	24,9	2,7	16,9
	20 -40	55,3	19,1	2,1	17,8
	40 -75	54,2	19,0	2,4	24,4
PS5 (CT)	0 -30	51,9	16,7	4	26,6
	30 -50	46,5	14,6	5	30,3
	50 -90	46,4	14,5	5,3	28,4
PS6 (AB)	0 -20	63,7	17,6	4,1	10,8
	20 -45	56,7	21	4,1	16,4
	45 -75	69,3	13,6	2	13,6
PS7 (AB)	0 -20	61,3	13,9	5	13,3
	20 -45	71,4	14	2,7	11,9
	45 -70	63,2	11,3	4	21,5
PS8 (AB)	0 -20	66,8	17,3	3,5	8,1
	20 -50	57,6	16,1	4,5	14,4
	50 -75	53,9	14,5	4	26
PS9 (CT)	0 -20	57,3	11,1	7,2	14,6
	20 -45	51,6	11,4	2,9	24,6
	45 -80	56,4	9,2	4,1	30,3
PS 10 (AB)	0 -30	57,5	8,2	7,5	17,6
	30 -55	75,21	9,71	6,08	8,94
	55 -80	65	6,9	15,5	9,1
PS11 (AB)	0 -35	69,1	8,1	5,4	15,9
	35 -55	65,9	11	7,7	15,5
	55 -85	62,9	11,9	9,1	16,2
PS12 (CT)	0 -20	76,2	12,2	5,1	6,5
	20 -40	77	15	1,6	6,4
	40 -90	65,5	16,3	1,3	13,6
PS13 (CT)	0 -20	61,2	16	4,6	18,3
	20 -45	61,7	17	4,4	16,9
	45 -80	62,4	14,1	3,4	20

Anexo 4. (Continuação 1)

Perfil	Prof.	Ca²⁺	Mg²⁺	K⁺	Na⁺
	cm	-----%-----			
PS14 (CT)	0 -25	75,3	15,4	1,2	8,1
	25 -55	72,2	13,3	7,8	6,7
	55 -85	73,7	14,1	5,5	6,8
PA15 (CT)	0 -20	68,2	11,9	11,3	8,6
	20 -50	66,3	12,7	7,5	13,6
	50 -75	69,9	18,7	1,5	9,9
PS16 (CT)	0 -25	68,3	17,7	6	8
	25 -50	73,4	13,2	4,1	9,4
	50 -75	72,73	16,27	3,18	7,82
PS17 (CT)	0 -25	71	19,1	1,3	8,5
	25 -50	70,2	17,6	2,1	10,1
	50 -75	75,1	16,2	1,2	7,5
PS18 (CT)	0 -25	46	15,3	11,5	15,3
	25 -60	63,5	14,1	2,6	8,9
	60 -100	70,8	14,4	2,1	12,7
PS19 (CT)	0 -20	73,5	18,5	1,3	6,7
	20 -45	72,5	17,2	0,9	9,4
	45 -75	68,1	13,6	2,7	15,7
PS20 (AB)	0 -25	64,2	14,7	11,6	9,5
	25 -50	68,2	11,6	4,9	15,4
	50 -90	73,2	10,5	2,7	13,6
PS 21 (AB)	0 -25	71,3	16,2	4,2	8,3
	25 -55	58,7	22,2	4,2	11,8
	55 -75	55	23,6	4,6	16,9
PS22 (AB)	0 -30	69,2	13,7	9,8	7,4
	30 -60	63,2	18,9	3,8	14,1
	60 -80	42,6	17,7	4,2	30,9
PS23 (CT)	0 -15	61,4	20,6	3,8	9,5
	15 -40	69,1	19,8	1	10,2
	40 -70	61,1	15,5	2,7	20,7
PS24 (CT)	0 -25	72,6	18,4	0,9	8,1
	25 -55	72,6	18,7	0,9	7,9
	55 -75	69,2	15,3	3,1	12,4
PS25 (AB)	0 -25	52,6	11,3	12,8	18,2
	25 -50	36,9	6,7	26,5	24,8
	50 -75	34,5	7,1	28,6	27,5
PS26 (CT)	0 -25	68,5	21,2	4	6,3
	25 -50	62,7	22,2	5,5	9,6
	50 -75	59,3	21,8	6,6	12,3

Anexo 5. Dados do pH, condutividade eléctrica (CE), e concentração de cloretos (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), bicarbonatos (CO_3H^-), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extracto de saturação das camadas dos solos do Vale do Cavaco. Simbologia: Perfis dos solos amostrados no perímetro de rega (PS), Solos localizados em colinas periféricas ao perímetro de rega (PA), Colinas (CL), solos cultivados (CT), solos abandonados não cultivados (AB), Colinas (CL), Não determinado (-).

Perfil	Prof. cm	pH	CE	Aniões			Catiões				SAR
		H ₂ O		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ H ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
			dS m ⁻¹	-----mmol _c L ⁻¹ -----							
PS1 (CT)	0 -30	8,18	1,17	0,10	5,14	7,00	2,58	1,23	23,96	1,59	1,36
	30 -60	7,87	1,63	0,39	8,23	5,50	1,14	0,46	24,30	0,46	27,21
	60 -90	7,30	1,82	0,85	1,54	1,50	1,46	0,80	32,15	0,56	30,31
PS2 (CT)	0 -25	8,15	1,23	0,23	4,11	2,50	2,72	1,40	12,63	1,73	8,79
	25 -60	7,84	0,65	0,05	-	-	-	-	-	-	-
	60 -100	8,45	1,83	0,00	5,65	1,50	1,42	0,83	14,39	0,38	13,57
PS3 (AB)	0 -25	7,60	6,48	4,78	11,14	6,50	50,75	3,97	8,18	1,65	1,56
	25 -50	8,15	2,34	1,58	2,23	2,50	15,70	1,48	2,36	0,38	0,80
	50 -75	7,96	2,24	0,00	9,77	2,50	10,76	1,41	2,94	0,15	1,19
PS4 (CT)	0 -20	8,10	2,13	1,48	14,74	5,50	5,42	3,22	43,74	0,66	21,03
	20 -40	8,23	1,22	3,72	14,22	4,50	3,99	3,45	82,66	0,46	42,84
	40 -75	8,00	6,00	4,10	25,30	1,80	2,10	2,00	44,70	0,30	32,30
PS5 (CT)	0 -30	8,14	10,30	11,33	72,49	7,00	34,00	13,24	32,39	1,88	6,67
	30 -50	7,86	5,92	3,29	53,81	5,50	17,21	6,40	33,37	0,89	9,71
	50 -90	7,50	7,29	4,38	69,74	5,50	28,95	9,79	37,02	1,15	8,41
PS6 (AB)	0 -20	7,68	2,65	4,29	54,32	4,50	39,09	12,93	113,37	2,03	22,23
	20 -45	8,17	4,58	3,49	69,06	4,50	31,65	11,30	130,76	1,57	28,22
	45 -75	7,89	4,95	1,11	16,11	9,00	26,98	11,78	156,41	1,30	35,53
PS7 (AB)	0 -20	8,08	6,50	8,24	40,61	7,00	47,21	15,84	55,57	1,87	9,90
	20 -45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45 -70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PS8 (AB)	0 -20	7,70	3,62	4,27	19,54	4,50	43,95	22,57	33,75	3,35	5,85
	20 -50	8,33	6,07	4,25	31,70	7,00	8,45	3,90	128,15	1,22	51,58
	50 -75	7,89	6,09	4,68	11,48	3,50	17,20	5,76	125,82	0,90	37,14
PS9 (CT)	0 -20	8,33	3,61	4,68	11,48	9,00	16,69	4,50	52,83	2,46	16,23
	20 -45	7,89	6,07	5,19	59,12	4,50	30,93	7,91	136,90	0,62	31,07
	45 -90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PS10 (AB)	0 -30	7,88	6,07	4,23	59,63	7,00	44,51	7,61	117,23	3,59	22,97
	30 -55	7,57	3,62	2,81	37,53	3,50	31,55	4,24	48,98	2,19	11,58
	55 -80	7,35	3,65	3,17	25,53	3,50	30,70	3,67	5,99	1,43	1,45
PS11 (AB)	0 -35	7,40	52,03	110,95	7,20	7,00	506,13	107,32	264,57	11,10	15,11
	35 -55	7,35	17,70	57,60	30,16	7,00	167,35	43,38	178,04	9,04	17,35
	55 -85	7,32	24,05	49,52	34,27	3,00	127,00	40,05	173,26	10,55	18,96
PS12 (AB)	0 -20	7,65	7,35	5,97	39,24	5,50	20,73	4,23	41,07	1,51	11,62
	20 -40	8,24	3,42	8,55	47,30	5,00	35,36	9,05	102,88	0,45	21,83
	40 -90	8,02	4,61	5,48	52,09	9,00	33,13	8,36	118,70	0,51	26,06
PS13 (CT)	0 -20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20 -45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45 -80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo 5. (Continuação 1).

Anexo 3. (Continuação 1).											
Perfil	Prof.	pH	CE	Aniões			Catiões				SAR
		H ₂ O		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ H ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
		cm	dS m ⁻¹	-----mmolc L ⁻¹ -----							
PS14 (CT)	0 -25	8,10	1,06	0,70	29,30	3,50	3,71	1,01	35,04	0,22	22,81
	25 -55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	55 -85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PS15 (CT)	0 -20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20 -50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50 -75	7,91	1,69	0,58	1,54	4,50	8,58	2,53	38,70	0,15	16,41
PS16 (CT)	0 -25	8,05	1,41	1,03	2,57	5,50	3,97	1,42	41,15	1,14	25,07
	25 -50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50 -75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PS17 (CT)	0 -35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	35 -50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50 -75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PS18 (CT)	0 -25	8,40	4,64	5,64	14,74	12,50	17,75	9,98	11,24	7,47	3,02
	25 -60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60 -100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PS19 (CT)	0-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20-45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45-75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PS20 (AB)	0-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	25-50	8,10	2,15	1,75	4,97	13,50	6,17	1,35	7,83	0,84	4,04
	50-90	7,99	1,74	0,88	7,80	3,00	7,84	1,45	6,68	0,36	3,28
PS21 (AB)	0-30	8,03	6,33	10,49	21,42	11,00	37,95	8,94	28,70	6,16	5,93
	30-60	7,75	6,20	7,06	43,18	3,50	33,59	12,01	34,10	0,86	7,14
	60-80	7,62	11,58	15,78	57,23	7,00	41,50	24,10	51,26	2,17	8,95
PS22 (AB)	0-30	8,03	6,33	10,49	21,42	11,00	37,95	8,94	28,70	6,16	5,93
	30-60	7,75	6,20	7,06	43,18	3,50	33,59	12,01	34,10	0,86	7,14
	60-80	7,62	11,58	15,78	57,23	7,00	41,50	24,10	51,26	2,17	8,95
PS23 (CT)	0-15	8,40	2,27	1,58	5,83	23,00	6,30	4,64	12,95	0,64	5,54
	15-40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40-70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PS24 (CT)	0-25	8,40	2,27	1,58	5,83	23,00	6,30	4,64	12,95	0,64	5,54
	25-55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	55-75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PS25 (AB)	0-25	8,05	6,58	4,03	52,78	4,50	31,33	9,72	32,36	8,10	7,14
	25-50	7,95	7,30	3,00	71,80	3,50	28,15	7,57	34,00	24,22	8,05
	50-75	7,85	1,53	12,62	97,68	9,00	30,56	3,08	67,89	50,63	14,53
PS26 (CT)	0-25	7,93	3,17	1,51	23,13	3,50	15,20	7,60	8,87	0,89	2,63
	25-50	7,85	2,17	1,16	13,37	2,50	5,83	3,41	8,30	0,79	3,86
	50-75	7,75	2,51	1,49	17,14	3,50	7,81	4,14	12,59	1,10	5,15
PA27 (CL)	0-43	-	3,21	1,15	5,65	2,25	39,13	29,93	9,74	0,86	1,66
	43-108	-	40,82	76,68	207,35	2,85	30,85	32,36	572,28	16,36	101,8
	108-180	-	7,12	8,22	50,21	1,75	33,68	9,25	40,63	2,26	8,77

Anexo 5. (Continuação 2).

Perfil	Prof.	pH	CE	Aniões			Catiões				SAR
				Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ H ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
	cm	H ₂ O	dS m ⁻¹	mmolc L ⁻¹							
PA28 (CL)	0-035	-	13,72	16,7	89,45	1,25	27,7	8,35	633,15	3,87	149,14
	35-98	-	24,75	32,31	204,6	2,55	25,35	5,16	313,04	2,64	80,15
	98-185	-	38,28	62,36	208,55	2,55	29,1	11,06	522,01	3,18	116,49
PA29 (CL)	0-55	-	18,39	33,54	60,66	1,95	47,26	9,69	154,24	0,68	28,91
	55-102	-	35,40	56,59	212,32	1,45	30,35	2,81	451,63	1,78	110,92
	102-130	-	37,50	53,54	214,54	1,85	26,43	7,98	500	1,87	120,56
	130-170	-	34,51	52,61	215,06	3,05	27,5	11,47	481,52	1,76	109,08
PA30 (CL)	0-20	-	1,20	0,56	1,54	1,15	1,47	0,91	4,3	0,64	3,94
	20-43	-	4,83	8,84	3,77	2,35	7,02	7,48	35,33	1,73	13,12
	43-160	-	67,43	196,54	213	6,65	44,56	247,74	938,59	7,45	77,64
	160-220	-	69,41	177,31	207,52	3,45	33,28	195,31	873,91	9,60	81,74
PA31 (CL)	0-50	-	1,99	3,37	3,08	2,15	6,3	5,72	7,7	0,1	3,14
	50-95	-	6,69	7,25	54,49	2,15	26,63	30,02	31,46	0,28	5,91
	95-150	-	18,39	33,54	60,66	1,95	2,93	0,95	1,04	0,12	1,94
PA32 (CL)	0-23	-	-	1,07	0,69	1,15	4,31	0,51	7,94	0,2	5,12
	23-78	-	31,45	88,98	36,67	3,05	148,25	87,75	225,27	0,56	20,74
	78-115	-	38,40	98,04	57,75	2,35	105,80	86,10	327,99	0,68	33,48
	115-200	-	31,31	75,26	98,36	1,95	49,20	111,68	335,05	0,73	37,36

